

Forbedret mulighed for reduktion af fungicidforbruget i kartofler

Bent J. Nielsen, Jens Grønbech Hansen, Iver Thysen,
Hans Pinnschmidt, Finn Plauborg & Niels Henrik Broge

Århus Universitet
Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet

Lars Bødker & Lars Møller

Dansk Landbrugsrådgivning
Landscentret

Niels Woetmann Nielsen

Danmarks Meteorologiske Institut

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING	7
SUMMARY	9
1 BAGGRUND	11
1.1 KARTOFFELPRODUKTION I DANMARK	11
1.2 KARTOFFELSKIMMEL (<i>PHYTOPHTHORA INFESTANS</i>)	11
1.3 BEKÆMPELSE	13
1.4 BESLUTNINGSSTØTTE	14
1.5 FORBEDREDE VEJRPROGNOSER	16
1.6 NEDSKALERING AF DMI-HIRLAM PROGNOSE TIL LOKALE PROGNOSER	16
1.7 PROJEKTETS FORMÅL	16
2 MATERIALER OG METODER	17
2.1 EPIDEMIOLOGISKE UNDERSØGELSER 2005-2006	17
2.2 PRODUKTION AF SPORANGIER I LÆSIONER AF KARTOFFELSKIMMEL	18
2.3 SPIREDYGTIGE SPORANGIER I LÆSIONERNE (SMITTEEVNE)	18
2.4 DØGNVARIATION	19
2.5 SPORESPREDNING	19
2.6 INFEKTION PÅ FANGPLANTER	20
2.7 SPREDNING VED REGNPLASK	22
2.8 MODEL TIL BEREKNING AF INFEKTIONSTRYK, HSPO	22
2.9 OVERLEVELSE AF SPORANGIER EKSPONERET FOR SOLSTRÅLING	23
2.10 ANALYSE AF DATA FOR SPORESPREDNING PR. TIME	24
2.11 MÅLING AF VEJRDATA I PROJEKTET	25
2.12 FORBEDREDE PROGNOSE FOR RELATIV LUFTFUGTIGHED	25
2.13 NEDSKALERING AF DMI-HIRLAM PROGNOSE TIL LOKALE PROGNOSER	25
2.14 MODEL FOR BESLUTNINGSSTØTTE, BLIGHT MANAGEMENT (BM)	27
2.15 MODEL TIL SIMULERING AF EPIDEMIFORLØB (LB 2004)	28
2.16 VALIDERING AF MODELLER OG BESLUTNINGSSTØTTE I MARKFORSØG	29
2.17 JUSTERING AF METODER FRA 2005 TIL 2006	30
3 PROJEKTETS RESULTATER	31
3.1 UDVIKLING AF SKIMMELEPIDEMI 2005 OG 2006 PÅ FLAKKEBJERG	31
3.2 PRODUKTION AF SPORANGIER OVER TID	32
3.2.1 <i>Produktion og levedygtighed af sporangier i løbet af sæsonen</i>	<i>32</i>
3.2.2 <i>Produktion og levedygtighed af sporangier i forskellige bladniveauer</i>	<i>35</i>
3.2.3 <i>Døgnvariation i sporeproduktion</i>	<i>37</i>
3.3 SPREDNING AF SPORANGIER 2005	38

3.4	SPREDNING AF SPORANGIER, OVERLEVELSE OG INFEKTION I 2006	40
3.5	OVERLEVELSE AF SPORANGIER OG GLOBALSTRÅLING	42
3.6	INFEKTION PÅ FANGPLANTER	44
3.7	INFEKTIONSTRYK JUSTERET FOR UV STRÅLING	46
3.8	SIMULERING AF EPIDEMIFORLØB MED LB2004	49
3.9	ANALYSE AF TIME-DATA FOR SPORESPREDNING	51
3.9.1	Deskriptive resultater	51
3.9.2	Sporulering: Korrelationer mellem sporefangst og betingelser for sporulering	53
3.9.3	Spredning af sporer: Korrelationer mellem sporefangst og forandring i betingelserne for sporespredning	54
3.10	SPREDNING AF SPORER VED REGNPLASK	56
3.11	FORBEDRING AF DMI-HIRLAM	56
3.11.1	Forudsigelse af RH i numeriske vejrmodeller	56
3.11.2	Forbedringer i beregning af relativ luftfugtighed	60
3.11.3	Ændring af ruhedsparemeter for temperatur og fugtighed	60
3.11.4	Ændring i beregning af specifik fugtighed ved overfladen	61
3.11.5	Ændring i beregning af turbulens	62
3.11.6	Justering af klimaparametre	62
3.11.7	Test-case	62
3.11.8	Parallelkørsler	63
3.11.9	Verificeringsresultater for RH2m for juli 2005	64
3.12	NEDSKALERING AF DMI-HIRLAM PROGNOSE TIL LOKALE PROGNOSE	66
3.13	VALIDERING AF MODELLER OG BESLUTNINGSSTØTTE I MARKFORSØG	72
4	DISKUSSION	77
4.1	SPORANGIEDANNELSE (SPORULERING)	77
4.1.1	Sporangiefrigørelse og spredning	78
4.1.2	Overlevelse af sporangier	79
4.1.3	Anvendelse af vejrdata	80
4.2	FORBEDREDE PROGNOSE FOR RELATIV LUFTFUGTIGHED	82
4.3	NEDSKALERING AF VEJRPROGNOSE TIL MARKNIVEAU	83
4.4	UDVIKLING AF BLIGHT MANAGEMENT	83
4.5	TEST AF BLIGHT MANAGEMENT I FORSØG	84
4.6	BLIGHT MANAGEMENT SOM BESLUTNINGSSTØTTE	85
5	KONKLUSION	87
6	PERSPEKTIVERING	89
	REFERENCELISTE	93
	APPENDIKS A – VEJR OG INFEKTIONSTRYK PÅ FORSKNINGSCENTER FLAKKEBJERG 2005-2006	97
	APPENDIKS B – Ændring af ruhedsparemeteren for temperatur	101
	APPENDIKS C – DMI-HIRLAM	107
	APPENDIKS D	109
	APPENDIKS E	111
	APPENDIKS F	113
	APPENDIKS G – RH måling og klimastationer	115
	APPENDIKS H – Implementering i Planteinfo 2007	117
	APPENDIKS I	119
	APPENDIKS J – Projektets formidling og publikationer	125

Forord

Projektets formål er at forbedre grundlaget for at reducere fungicidforbruget i kartofler, og der er i 2005 og 2006 udført eksperimentelle forsøg med spredning, overlevelse og infektion af kartoffelskimmel under markforhold samt udviklet nye metoder, som kan forbedre kvaliteten af vejrprognosedata til beregning af risiko for udvikling og spredning af kartoffelskimmel. På baggrund af disse undersøgelser er der blevet udviklet modeller for beslutningsstøtte for bekæmpelse af kartoffelskimmel, og modeller er afprøvet i markforsøg

Projektet er udført i samarbejde mellem Aarhus Universitet, Dansk Landbrugsrådgivning og Danmarks Meteorologiske Institut. Fra Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet deltog seniorforsker Bent J. Nielsen (projektleder), forsker Jens Grønbech Hansen, forskningsleder Iver Thysen, seniorforsker Hans Pinnschmidt, seniorforsker Finn Plauborg og seniorforsker Niels Henrik Broge. Fra Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret deltog landskonsulent Lars Møller og landskonsulent Lars Bødker og fra Danmarks Meteorologiske Institut deltog seniorforsker Niels Woetmann Nielsen.

Til projektet har været knyttet en følgegruppe bestående af professor Peter Sandøe, Det Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet, professor Peter Esbjerg, Institut for Økologi, Det Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet, afdelingsleder Poul Henning Petersen, Dansk Landbrugsrådgivning, seniorforsker Kristian Kristensen, Institut for Genetik og Bioteknologi, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, afdelingsleder Niels Lindemark, Dansk Planteværn, seniorrådgiver Jens Erik Ørum, Fødevareøkonomisk Institut, Københavns Universitet og fra Miljøstyrelsen Lise Samsøe-Petersen samt specialkonsulent Jørn Kirkegaard (formand).

Følgegruppen har nedsat en arbejdsgruppe, som har kommenteret og diskuteret rapporten. Følgende har deltaget i arbejdsgruppen: Jens Erik Ørum, Kristian Kristensen, Lise Samsøe-Petersen, Jørgen Olesen (Aarhus Universitet), Hanne Lindhard-Pedersen (Aarhus Universitet) samt Ghita Cordsen Nielsen (Landscentret).

Der rettes en stor tak til følgegruppen og især den nedsatte arbejdsgruppe for mange konstruktive bidrag til rapporten.

Sammenfatning

Med støtte fra Miljøstyrelsen er der i 2005 startet et toårigt projekt "Forbedret grundlag for reduceret fungicidforbrug i kartofler". Projektets formål er at forbedre grundlaget for at reducere fungicidforbruget i kartofler, og der er i 2005 og 2006 udført eksperimentelle forsøg med spredning, overlevelse og infektion af kartoffelskimmel under markforhold samt udviklet nye metoder, som kan forbedre kvaliteten af vejrprognosedata til beregning af risiko for udvikling og spredning af kartoffelskimmel. På baggrund af disse undersøgelser er der udviklet modeller for beslutningsstøtte for bekæmpelse af kartoffelskimmel, og modellerne er afprøvet i markforsøg. Projektet er udført i samarbejde mellem Aarhus Universitet, Dansk Landbrugsrådgivning og Danmarks Meteorologiske Institut.

Resultaterne fra markforsøg viser, at skimmelsvampen danner sine sporer (sporangier) om natten, og at de frigøres om morgenen, når der sker et kraftigt fald i den relative luftfugtighed. Infektionen kan ske om morgenen, hvis der er et overlap mellem tilbageværende dugdråber og frigørelsen af sporangier. Men de dannede sporangier kan kun inficere, hvis de indenfor ganske få timer kommer i kontakt med frit vand enten fra dug eller fra nedbør. Projektets undersøgelser viser også, at de nydannede sporangier kan fastholdes i læsionerne og spredes over mindst 2-3 dage.

I projektet er der udviklet et indeks for infektionstryk, som baserer sig på en vejrmæssig beregning af sporangiedannelse. Ved at koble sporangiedannelsen sammen med en model for overlevelse baseret på global stråling blev der opnået en bedre sammenhæng mellem infektion på planter i marken, end hvis der kun blev anvendt infektionstryk. Model for overlevelse er udviklet på baggrund af data fra 2006 og er således ikke testet i markforsøg. Det forventes, at inddragelse af modellen for overlevelse vil forbedre mulighederne for at udpege perioder, hvor der er meget lille risiko for nye infektioner, og dermed en mulighed for at reducere fungicidforbruget.

DMI har i projektet forbedret prognosen for relativ fugtighed (RH) i vækstsæsonen. Tidligere var prognosen for RH 5-10% for lav. Med justeringen af RH er beregningen af dagligt niveau af sporangiedannelse i prognosen en anelse for høj, men da infektionstrykket beregnes med vejrdata for en periode med to dage bagud og to dage frem, begrænses denne fejl betydeligt. Det blev undersøgt, om man kan bruge en lokal vejrstation til at justere prognosen for temperatur og RH og dermed opnå en bedre prognose på markniveau. Prognosen for temperatur blev forbedret, men prognosen for RH blev hverken bedre eller dårligere.

Resultater og erfaringer fra projektet er anvendt til videreudvikling af beslutningsstøttesystemet Blight Management (BM). I BM vurderes risiko for angreb af kartoffelskimmel, og bekæmpelsestidspunkt samt dosering af fungicid afpasses efter infektionsrisiko og sortsresistens i den enkelte mark. De forskellige testversioner af BM blev afprøvet i seks markforsøg 2005-2006. Resultaterne viste, at beslutningsstøttesystemet BM kun i få forsøg kunne reducere behandlingshyppigheden, specielt ved lave smittetryk. Antallet af forsøg er dog langt fra tilstrækkeligt til at foretage en egentlig validering af

beslutningsstøttemodellen og kan kun anvendes til at afprøve, om modellerne er operationelle i marken. Dele af systemet blev implementeret i 2007 i det eksisterende beslutningsstøttesystem i www.planteInfo.dk.

Projektets undersøgelser viser, at den klimabaserede beslutningsstøttemodel (BM) endnu ikke er sikker nok eller designet til at kunne anvendes som en ren beslutningsmodel, der udpeger en bestemt dato for udbringning af svampemidler. BM i sin nuværende form kan kun anses som et værktøj for avler eller rådgiver, der i en kombination med anden information og erfaring kan støtte i beslutningsprocessen vedrørende valg af dosering og svampemiddel afhængig af risikoen for spredning og infektion af skimmelsvampen.

Resultater og erfaringer fra projektet vil kunne anvendes i arbejdet med udvikling af beslutningsstøtte for andre fugtighedselskende svampe i specielt frugt og grønt.

Summary

Potato late blight is caused by the fungus *Phytophthora infestans* and is the pest most damaging to yield and quality in Danish potato production. The fungus occurs every year in potato fields and necessitates several fungicide applications during the season to ensure a profitable potato production. With financial support from the Danish Environmental Protection Agency, the project "Improved basis for reduced fungicide use in potatoes" started in 2005 for a duration of two years. The objective of the project is to improve the knowledge basis for reducing fungicide use in potatoes. Spore dispersal, survival and infection of potato late blight were studied in field trials in 2005 and 2006 and new methods were developed that will improve the quality of weather forecast data for calculating of the risk of potato late blight development and dispersal. Based on these studies, decision support models for control of potato late blight were developed and tested under field conditions. The project was carried out in collaboration between the University of Aarhus, Dansk Landbrugsrådgivning (the Danish Agricultural Advisory Service) and Danmarks Meteorologiske Institut (the Danish Meteorological Institute).

The results show that the fungus forms its spores (sporangia) during the night and that the spores are released in the morning when there is a substantial drop in relative humidity. Infection can occur in the morning if there is an overlap between the remaining dew drops and the release of sporangia. The formed sporangia can only complete infection if free water is present within a few hours, either from dew or precipitation. The results also showed that newly formed sporangia can remain in the lesions and be dispersed over at least 2-3 days. This means that infection events are not necessarily due to spores that had been produced on the same day but up to several days prior to the infection event.

An index of infection pressure (HSPO) was developed in the project. It is based on sporangia formation as calculated from weather conditions. By coupling the sporangia formation with a model of survival based on global radiation, a better correlation was achieved between infection in the field (on catch plants) and spore formation, than if only infection pressure was used. The model has not yet been tested in field trials, but it is expected that the involvement of the survival model will improve the identification of periods with small risk of new infections. Fungicide use can thus be reduced.

As part of the project, DMI has improved the forecast of relative humidity (RH) during the growing season. Previously, the forecast of RH was 5-10% too low. With the adjustment of RH, the calculation of the daily level of sporangia formation in the forecast has become slightly too high, but as the infection pressure is calculated with weather data dating back 2 days and ahead 2 days, respectively, the error is considerably reduced. It was studied whether a local weather station could be used to adjust the forecast of temperature and RH and thereby achieve a better forecast at field level. The temperature forecast was improved, but the forecast of RH was neither better nor worse.

The results and experience from the project were used for further development of the decision support system Blight Management (BM). In BM, the risk of potato late blight attacks and the appropriate control time are assessed and the fungicide dosage is adjusted according to the risk of infection and cultivar resistance in the respective field. The various BM versions were tested in six field trials in 2005-2006. The results showed that the decision support system BM could reduce the treatment frequency only on few occasions, especially at low infection pressure. However, there were too few trials to carry out a proper validation of BM. The data are thus mainly suited to test whether the models are operational in the field. Parts of the system were implemented in 2007 in the existing decision support system in www.planteInfo.dk.

The results of the project indicate that the climate-based decision support model (BM) is not yet safe enough or designed to be used as a pure decision model that points out a certain date for the application of fungicides. However, BM in its present form can be considered as a tool for growers or advisers which in a combination with other information and experience can help the decision process concerning the choice of dosage and fungicide depending on the risk of dispersal and infection by the late blight fungus.

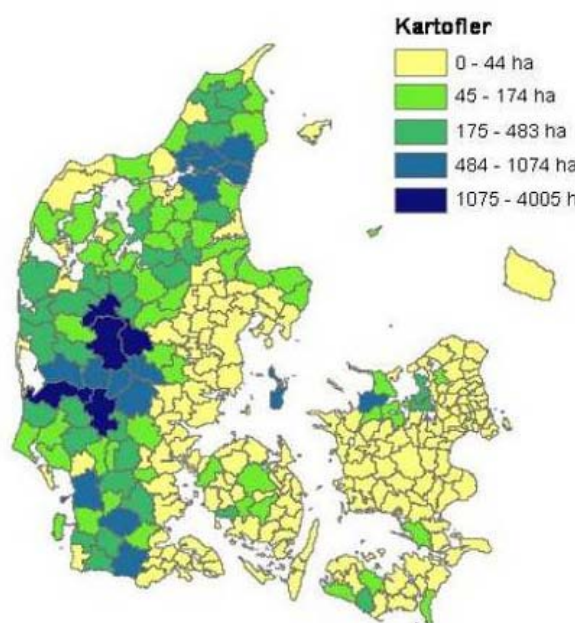
Experience from practical advice concerning late blight control both at home and abroad shows that there is a large demand among potato growers and advisers for a reliable forecast tool to determine "late blight weather" in order to be able to reduce the treatment frequency and improve the economic results of potato growing. There are therefore great perspectives for extending and using a reliable decision support system to reduce the still increasing consumption of pesticides but also as an aid to fix the time for application of fungicides with different modes of action.

The results and experience from this project can be used in the task of developing decision support for other fungi depending on humidity in especially fruit and vegetables.

1 Baggrund

1.1 Kartoffelproduktion i Danmark

Kartoffelarealet i Danmark udgør 38.000 ha (Danmarks Statistik, 2006) fordelt på læggekartofler (4.000 ha), spisekartofler (15.000 ha) samt industrikartofler (19.000 ha) og repræsenterer en produktionsværdi for kartoffelavlerne på over én milliard kroner. Hovedparten af kartoffelarealet er koncentreret i Midtjylland (figur 1) og samlet på få ejendomme med kartofler som den primære indtægtskilde.



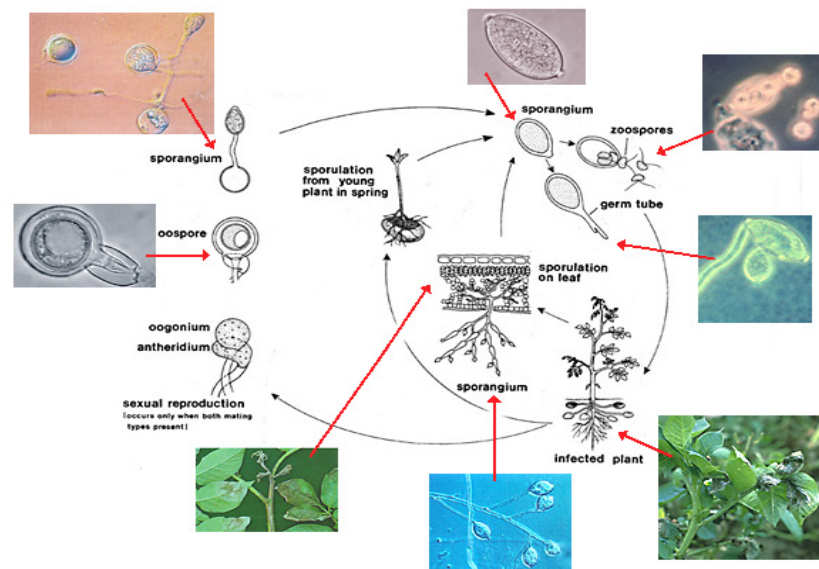
Figur 1. Fordeling af kartofler i Danmark 2002-2005. Areal anvendelsen til kartofler. Arealet til kartofler er regnet som et 3-års gennemsnit (2002-2005). Kilde: Danmarks Statistik (2005) og (2006a).

1.2 Kartoffelskimmel (*Phytophthora infestans*)

Kartoffelskimmel er den mest udbytte- og kvalitetsforringende skadegører i kartofler. Et kraftigt angreb af kartoffelskimmel kan reducere udbyttet til det halve, og selv et meget lille angreb af kartoffelskimmel i marken kan medføre, at kartoffelknoldene kan inficeres ved høst. Selv ganske få inficerede knolde kan give anledning til råd på lageret, og for en række specialproduktioner af f.eks. tidlige kartofler, læggekartofler eller kartofler til forarbejdning er der en nul-tolerance for kartoffelskimmel.

Kartoffelskimmel er forårsaget af den svampelignende mikroorganisme ***Phytophthora infestans***, der tilhører en gruppe organismer, som betegnes oomyceter eller ægsporesvampe. Tidligere var oomyceter klassificeret som svampe, men der er store forskelle mellem oomyceter og ægte svampe. For

eksempel består oomyceters cellevægge fortrinsvis af cellulose, mens ægte svampes cellevægge består af kitin. Desuden er oomyceter diploide (to kromosomsæt) i den vegetative form (den mycelielignende vækst) i modsætning til svampe, hvis mycelium består af haploide (ét kromosomsæt) celler. Oomyceterne er desuden karakteriseret ved deres sværmeceller (zoosporer) samt deres kønnede sporer (oosporer) (se figur 2), som mangler hos de egentlige svampe. *P. infestans* er tættere beslægtet med brunalger end med de ægte svampe, og oomyceterne regnes nu for at høre til et rige (*Straminipilia*) for sig selv (Judelson og Blanco, 2005). Økologisk og plantepatologisk kan kartoffelskimmel dog stadig opfattes som en svampelignende organisme, og i denne rapport beskrives kartoffelskimmel som en "svamp".



Figur 2. Sygdomscyklus for kartoffelskimmel (*Phytophthora infestans*). På det angrebne blad danner skimmelsvampen sporer på undersiden (midterst i figuren). Under gunstige vejrforhold spredes sporerne, og lander de på fugtige blade, kan de på få timer inficere planten. Svampen har to kønstyper A1 og A2), og findes de samtidigt på bladene, kan der opstå en kønnet formering med dannelse af hvilesporer (oosporer), som kan overleve i jorden i flere år. Hvis jorden er smittet, og der er fugtige forhold ved kartoffelplantens fremspiring, kan planterne inficeres fra oosporerne. Mest almindelige smittevej er dog via knoldene, hvor sporer fra angrebne blade lander på jorden og herfra smitter de nye knolde. Svampen kan så overleve på lager inde i knolden og kan det efterfølgende år give anledning til nye angreb (Kilde: <http://www.plantpath.cornell.edu/fry/index.htm>).

De primære smitekilder er inficerede knolde, affaldsdynger, spildkartofler og hvilesporer (oosporer). Tidligere var det kun inficerede knolde, som var af betydning i Danmark, men siden 1997 har der været mange indikationer på, at kønnet formering finder sted i Danmark (Lehtinen *et al.*, 2007; Bødker *et al.*, 2006). De milde vintre betyder også, at spildkartofler og kartofler i affaldsdynger kan overleve og spire med skimmel i det tidlige forår. Hvis nogle af disse planter er inficerede kan det være en alvorlig smitekilde. Fra en inficeret knold kan *P. infestans* vokse op igennem stænglen og lave en sporulerende læsion på stænglen lige over jorden. Herfra spredes smitstof – først til de nærmeste blade og senere til naboplanter eventuelt med regnplask eller ved vanding. Når der er dannet en plet i marken (et fokus), kan svampens sporer (sporangierne) spredes til større partier af marken under gunstige vejrforhold. Sporangierne er ikke levedygtige i lang tid på grund af risiko for udtørring, og fordi UV stråling dræber sporangierne (Mizibuti *et*

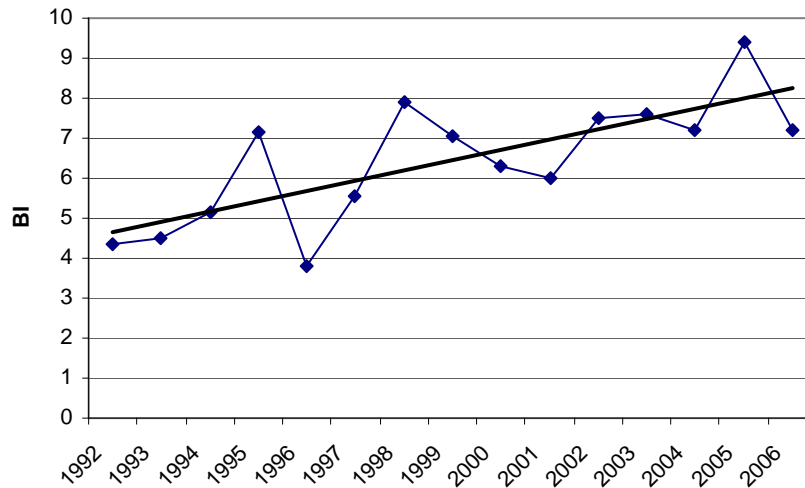
al., 2000). Derfor skal spredte sporangier hurtigst muligt lande i en dråbe vand fra dug eller fra regn og starte infektion. Hvis det er varmt, går der kun 4-5 dage fra infektion til svampen begynder at danne sporer på kartoffelbladets underside. Under fugtige og varme vejrtilstande kan svampen opformers meget hurtigt, og angreb kan ødelægge en hel mark i løbet af 10-14 dage. Under nedbør kan sporangierne vaskes ned gennem jorden og inficere knoldene. Latent inficerede knolde kan overleve en vinter i jorden eller i lageret og dermed overlevere smitstof til næste sæson. Kartoffelskimmel har kønnet formering, og hvis skimmel af to parringstyper (A1 og A2) angriber det samme blad eller stængel, kan der ske en kønnet formering og efterfølgende dannelse af oosporer (hvilesporer) i bladet. Når bladet dør og falder af til jorden, vil oosporerne kunne ligge i jorden og være en latent smittekilde i 3-5 år. Begge parringstyper findes nu i Danmark, og sidste undersøgelse fra 2003 viste en ligelig forekomst af A1 og A2 (Lehtinen *et al.*, 2007). I de senere år er der i nogle tilfælde set meget tidlige angreb af kartoffelskimmel kort tid efter kartoffernes fremspiring, som kunne tyde på angreb fra oosporer i marken (Hansen *et al.*, 2006).

1.3 Bekæmpelse

For at beskytte sin kartoffelavl er landmanden nødsaget til at sprøjte flere gange i løbet af sæsonen mod kartoffelskimmel. Bekæmpelsen foregår dels ved anvendelse af kontaktfungicider (f.eks. Dithane NT, Shirlan, Electis, Ranman) hen gennem sæsonen eller ved anvendelse af systemiske fungicider (f.eks. Ridomil Gold, Tattoo) eller semi-systemiske midler (f.eks. Tyfon, Acrobat WG), hvor det virksomme stof optages helt eller delvis i bladet (Nielsen, 2003; Nielsen, 2008). Ved anvendelse af kontaktfungiciderne opnås udpræget en forebyggende behandling, hvor selve infektionen forhindres, mens der ved anvendelse af systemiske midler kan opnås en egentlig bekæmpelse af et eksisterende angreb inde i bladet (kurativ behandling). Erfaringerne har vist (Bødker & Nielsen, 2001; Nielsen & Bødker, 2002; Nielsen, 2004), at langt den mest effektive bekæmpelse opnås ved sprøjtning forud for svampens infektion (forebyggende behandling), og hele grundlaget for bekæmpelse af kartoffelskimmel bygger netop på, at sprøjtning mod kartoffelskimmel sker, førend svampen har etableret sig i bladet.

I den økologiske produktion af kartofler, hvor det i Danmark ikke er muligt at anvende nogen form for pesticider, prøver man at få startet produktionen så tidligt som muligt (forspiring, tidlige kartofler mv.), således at kartoflerne har sat en del af deres knolde, førend skimmelsvampen angriber. Det kan redde noget af udbyttet, men en meget stor del i både kvalitet og kvantitet vil gå tabt som følge af skimmelangreb. Forsøg med anvendelse af alternative sprøjtemidler har hidtil ikke kunnet vise en effektiv bekæmpelse (Nielsen *et al.*, 2003; Lærke *et al.*, 2005).

Konventionel dyrkning af kartofler er i dag karakteriseret ved en intensiv fungicidanvendelse. Fungicidforbruget i kartofler udgør i dag 23% af det samlede fungicidforbrug i dansk landbrug, mens kartoffelarealet kun udgør 1,8% af landbrugsarealet. Behandlingsindekset (antal hele standarddoseringer pr. ha) har ifølge bekæmpelsesmiddelstatistik fra Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2006) været stigende over de sidste 10-15 år fra 4-5 behandlinger i 1992 til ca. 9 behandlinger i 2005 og 7 behandlinger i 2006 (figur 3). I 2007 forventes det, at fungicidforbruget i kartofler overstiger forbruget i 2005 på grund af en udsædvanlig skimmelfavorabel vækstsæson med udbredt skimmel i markerne allerede i juli måned.



Figur 3. Udvikling i behandlingsindeks (BI) for fungicider i kartofler 1992-2006. (Bekæmpelsesmiddelstatistik, 2006).

De vigtigste årsager til det øgede forbrug er bl.a. mere alvorlige epidemier af kartoffelskimmel forårsaget af 1) nye og mere aggressive smitteracer, 2) tidlig oosporesmitte fra jorden samt 3) mere gunstigt vejr for kartoffelskimmel de seneste år, som omtalt i afsnit 1.1.

1.4 Beslutningsstøtte

Et beslutningsstøttesystem (DSS) integrerer og organiserer alle typer af information, som er nødvendige for at tage beslutninger om produktionen. Komplexiteten kan variere fra en meget simpel databeregning til et computerbaseret ekspertsystem. Fremtidens landbrug i de mest udviklede lande går mod færre avlere med mange marker, øget anvendelse af ny teknologi, og driften bliver "business"-præget (Magarey *et al.*, 2002). Dette har øget behovet for beslutningsstøttesystemer. Tidligere lavede man Pc-programmer, men i dag er formidlingsmetoden primært Internettet og mobilteknologi. Systemerne kan variere fra omfattende "super-konsulent" typer, over en webportalløsning, som samler viden fra mange kilder til "open source" systemer, hvor alt er åbent og dokumenteret, men hvor de enkelte applikationer ofte ikke er integrerede (Magarey *et al.*, 2002).

Behovet for beslutningsstøtte vedrørende kartoffelskimmel drejer sig ofte om fungicidbehandling, det vil sige, hvornår skal man starte med at behandle og hvor meget og hvor ofte gennem sæsonen med forskellige fungicidtyper og dosis. I Europa findes der adskillige beslutningsstøttesystemer for fungicidanvendelse i kartofler (Schepers, 2005). Seks forskellige DSS blev sammenlignet i en fælles europæisk test i 2001: Simphyt (Tyskland), PLANT-Plus (Holland), NegFry (Danmark), ProPhy (Holland), Guntz-Divoux/Milsol (Frankrig) og PhytoPre+2000 (Schweiz). Anvendelsen af beslutningsstøttesystemerne reducerede fungicidforbruget med 8-62% sammenlignet med rutinebehandling. Niveaueet af kartoffelskimmel ved slutningen af vækstsæsonen var den samme eller lavere ved at bruge systemerne sammenlignet med rutinebehandling i 26 ud af de 29 testforsøg (Hansen *et al.*, 2002b). Tilsvarende resultater blev opnået ved test af PLANT-Plus, ProPhy, NegFry og Simphyt i Irland i årene derefter (Dowley & Burke, 2004). De fleste af de nævnte systemer er koblet til anvendelsen af

vejrdata fra ordinære klimastationer, men Prophy, PLANT-Plus og NegFry bruges med en lokal klimastation. Kun Prophy anvender data fra mikroklimaet. Alle andre systemer bygger på vejrdata fra 2 m højde, og relationen mellem 2 m vejrdata og mikroklima er som sådan indbygget i modellerne. Modeller som PLANT-Plus, Prophy og NegFry kan betegnes som beslutningsmodeller, fordi de giver en konkret vejledning om tidspunkt for behandling, fungicidtype og dosis. PLANT-Plus og Prophy er kommercielle systemer, og de kræver licens og integration med egne lokale vejrstationer. Både Plant Plus og Prophy findes også som Internet versioner. De modeller og metoder, som er implementeret i de kommercielle systemer, er naturligt nok ikke publiceret i detaljer. Det mest udviklede system i Europa - PLANT-Plus - sælges nu som en pakkedløsning inklusive vejrdata, prognosedata og rådgivning over det meste af verdenen (Ratjes *et al.*, 2004). Det har været testet i Sverige og i Danmark, men det har ikke slået an i praksis af forskellige årsager. For svenske forhold nævnes, at det er for tidskrævende at anvende, fungicidbesparelsen er for lille i forhold til risiko og tidsforbrug, og det passer ikke ind i den praktiske hverdag (Wiik, 2006). Tilsvarende forhold vil sandsynligvis være gældende i Danmark.

I Danmark blev Pc-NegFry udviklet i starten af halvfemserne (Hansen *et al.*, 1995). En væsentlig motivation var, at registreringer i forsøg og fra praksis viste, at starten af angreb varierede op til en måned (Hansen, 1995), og at testforsøg i de nordiske lande viste et stort potentiale i at nedsætte fungicidforbruget uden markant øget risiko for skimmel (Hansen *et al.*, 1995; Hermansen & Amundsen, 2003). Videreudviklingen af PC-NegFry stoppede i 2002, bl.a. fordi brugen af Hardi Klimaspud var for ustabil, og prognosen for tidlige angreb fejlede (Bødker *et al.*, 1998). Pl@nteInfo på Internettet var startet i 1996, og det var naturligt at arbejde videre med beslutningsstøtte om skimmel i Pl@nteInfo (www.planteinfo.dk). Den komponent i Planteinfo, som beregnede dosis og intervaller blev udviklet i perioden 1999-2003 (Hansen *et al.*, 2003). Selvom forsøgsresultaterne med både Pc-NegFry og Skimmelstyring har været lovende (Hansen *et al.*, 1995; 2001; 2002a; 2002b), har risikoen ved anvendelse af systemerne alligevel været for stor i forhold til den økonomiske gevinst. Usikkerhederne har bl.a. drejet sig om kvaliteten af vejrdata, vejrprognosedata og beregning af skimmelvejr (Hansen *et al.*, 2003).

Indflydelsen af temperatur og relativ luftfugtighed på udviklingen af kartoffelskimmel er blevet beskrevet i mange artikler (Review i Harrison, 1992; Harrison, 1995; Schepers, 1998 og Hansen, 2002 og på nettet: <http://www.ipm.ucdavis.edu/DISEASE/DATABASE/potatolateblight.html>). De fleste epidemiologiske modeller, som anvendes i beslutningsstøttesystemer i Europa i dag, er baseret på data fra klimakammerundersøgelser helt tilbage fra 1930'erne (Crosier, 1934; Harrison, 1992). De små forskelle, der er, skyldes bl.a. forskelle i systemernes anvendelse af vejrdata og arkitekturen af systemerne. Et vigtigt aspekt har været, i hvor høj grad disse basale modeller stadig er pålidelige i dag, hvor skimmelsens biologi har ændret sig, og nogle steder er blevet mere aggressiv (Schepers, 1998; Hansen *et al.*, 2005). Derfor er der et behov for at undersøge betydningen af nye smitekilder og at gentage de basale undersøgelser om vejrets indflydelse på skimmelsens biologi – både i klimakammer og under markforhold.

Vi ved fra praksis, at der hver sæson er perioder, hvor det ikke er skimmelvejr. I disse perioder går angreb af kartoffelskimmel i stå, og angrebne læsioner tørrer ind eller af anden årsag bliver inaktive. Et beslutningsstøttesystem for forebyggende sprøjtninger mod kartoffelskimmel skal med stor sikkerhed

kunne udpege disse sikre perioder, hvor avlere har mulighed for at reducere doseringen eller helt undlade at sprøjte.

Beslutningsstøttesystemet slår fejl, hvis det udpeger "sikre perioder", som alligevel ikke er sikre. Vurderingen af, hvor stor en usikkerhed avlere kan tolerere for et beslutningsstøttesystem, afhænger af afgrødens værdi og aftagervirksomhedernes kvalitetstolerancer samt prisen på en behandling med forebyggende svampemidler. Disse forhold varierer meget mellem avlere, sorter og produkttyper.

1.5 Forbedrede vejrprognoser

Den relative luftfugtighed (RH, forkortet fra det engelske: relative humidity) nær jordoverfladen er en vigtig vejrparameter ved varsling for risiko for smittespredning af kartoffelskimmel. Et af formålene med projektet har derfor været at forbedre forudsigelsen af relativ fugtighed i Danmarks Meteorologiske Instituts (DMIs) prognosemodel (DMI-HIRLAM_T15), der benyttes til vejrforudsigelse i Danmark, Grønland og på Færøerne samt til vandstandsvarsling langs Danmarks kyster.

1.6 Nedskalering af dmi-hirlam prognoser til lokale prognoser

Et andet formål har været at undersøge, om en kalibrering af vejrprognoserne til lokale vejrforhold kan bidrage til at forbedre varslingen for kartoffelskimmel, idet det er kendt, at den relative luftfugtighed kan variere betydeligt som følge af lokale topografiske forhold.

DMI-HIRLAM prognosen er beregnet med en horisontal gridstørrelse på 15x15 km. Prognosen er derefter omregnet til 10x10 km i AMIS vejrdatasystemet, som anvendes i informationssystemet PlanteInfo (www.planteinfo.dk). Der kan indenfor geografiske områder af denne størrelse forekomme betydelige lokale variationer f.eks. i topografien, som vil betinge væsentlige forskelle i den relative luftfugtighed. Hvis der er tale om systematiske og vedvarende forskelle mellem vejrprognoserne og det faktisk forekommende vejr, vil det være muligt at korrigere for denne forskel og dermed kalibrere eller nedskalere vejrprognoserne til lokale prognoser.

1.7 Projektets formål

Som det fremgår af ovenstående, er der stadig en række uløste problemer, som gør, at planteværnsmodellerne i kartofler ikke er så sikre, at de kan udgøre et effektivt beslutningsstøttesystem for landmanden.

Miljøstyrelsen besluttede derfor i 2004 at yde tilskud til undersøgelser vedrørende muligheder for reduktion af fungicidforbruget i kartofler med særlig fokus på at:

- Undersøge sammenhæng mellem vejrforhold og produktion, spredning samt infektion af kartoffelskimmel
- Udvikle mere præcise prognoser for relativ luftfugtighed (RH)
- Forbedre beslutningsstøttesystem til bekæmpelse af kartoffelskimmel
- Validere beslutningsstøttesystemet i markforsøg

2 Materialer og metoder

I projektet er der i 2005-2006 udført epidemiologiske undersøgelser med sporeproduktion, sporespredning og infektion af kartoffelskimmelsvampen. Der er desuden arbejdet med udvikling af modeller for beslutningsstøtte vedrørende bekæmpelse af kartoffelskimmel og forbedring af prognoser for relativ luftfugtighed, som indgår i modellerne. De udviklede modeller er desuden afprøvet i markforsøg. Metoder for projektets undersøgelser er beskrevet i det følgende.

2.1 Epidemiologiske undersøgelser 2005-2006

Forsøg i 2005

Ved Forskningscenter Flakkebjerg blev der i 2005 anlagt et areal på 20x20 m med en sortsblanding af ubehandlede kartofler (figur 4). Sortsblandingen blev lagt rækkevis med fire forskellige sorter med forskellig modningstid og resistensgrundlag for at sikre skimmeludvikling over det meste af sæsonen (sorterne Bintje (mest modtagelige), Saturna, Oleva og Kuras (mindst modtagelige)). Øst og vest for sortsblandingsfeltet blev i en afstand af 22-24 m anlagt felter af samme størrelse, men kun med henholdsvis sorterne Bintje og Oleva i ren bestand. Rækkerne med sorten Bintje blev smittet med en sporangieopløsning (1000 sporangier/ml) den 22. juni på et tidspunkt, hvor der ikke forekom skimmel i området. Fra Bintje skete der en sporespredning til de øvrige sorter.



Figur 4. Forsøgsfeltet 2005. Sortsblanding af 4 sorter (Bintje, Saturna, Oleva og Kuras i rækker). Bagved, til højre (mod vest) ses forsøgsfeltet med sorten Oleva i ren bestand.

Forsøg i 2006

I 2006 blev der kun anvendt to sorter. Der blev anlagt to arealer på 34x34 m med henholdsvis den meget modtagelige sort Bintje og den moderat modtagelige sort Oleva med ca. 30 m afstand mellem sorterne. Arealet mod øst var med sorten Bintje, og ca. 30 m mod vest var arealet med sorten Oleva (af hensyn til sporespredning fra Bintje) (figur 5). I 2006 blev der udsat

potter med kartofler ("fangpotter") midt i felterne for at fange sporer af kartoffelskimmel. For at undgå direkte smitte ved berøring fra de nærmeste planter, blev der lagt en række af helt resistente kartoffelplanter (af sorten Sarpo Mira) omkring midterfeltet, hvor fangpotterne blev placeret. Arealet med Bintje blev smittet med en sporangieopløsning (1000 sporangier/ml) den 28. juni på et tidspunkt, hvor der ikke forekom skimmel i området. På grund af de tørre vejrforhold i sommeren 2006 kunne der ikke umiddelbart ses angreb i feltet, og der blev smittet igen den 5. juli og 11. juli. Oleva feltet blev smittet kunstigt den 11. juli. Der blev vandet i felterne for at fremme angreb.



Figur 5. Forsøgsfeltet 2006. Bintje med sporefælde omgivet af den resistente sort Sarpo Mira (se tekst). I baggrunden i højre side af billedet ses feltet med sorten Oleva.

2.2 Produktion af sporangier i læsioner af kartoffelskimmel

Formålet er at undersøge den daglige produktion af svampesporer og betydningen af forskellige klimaforhold. Der blev udtaget blade med skimmelsymptomer alle hverdage om morgenen ca. kl. 8 (ved høj luftfugtighed), fra begyndende angreb i mest modtagelige sort (29/6 2005 og 3/7 2006) til kartoflerne var nedvisnet som følge af angreb (26/8 2005 og 20/8 2006). I 2005 blev der kun indsamlet på hverdage, mens der i 2006 også blev indsamlet i weekender.

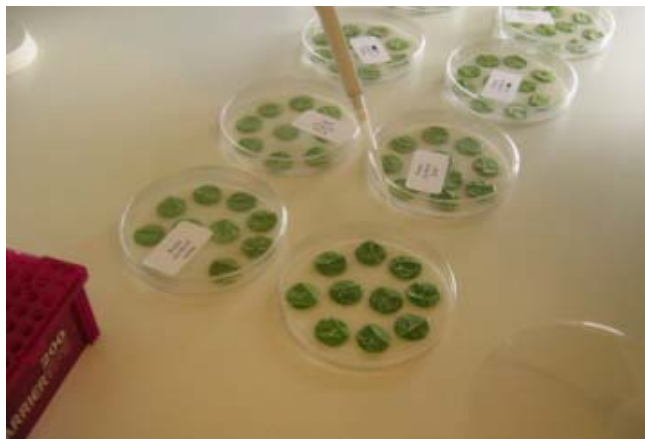
Der blev udtaget 5 (2005) til 10 (2006) blade med tydelig infektion fra henholdsvis top (øverste tredjedel) og bund (nederste tredjedel af afgrøden). Bladene blev overført til rør med 5 ml demineraliseret vand og bragt til laboratoriet i køletaske. Koncentrationen af sporangier i opløsningerne fra hver infektion blev bestemt i tællekammer (haemocytometer), og størrelsen af infektionen (læsionen) blev bestemt ved digital målemetode (GIPSPRO).

Antal sporangier er omregnet til antal sporangier pr. cm^2 læsion (nekrose).

2.3 Spiredygtige sporangier i læsionerne (smitteevne)

Formålet er at undersøge infektionsevnen af de indsamlede sporer. Sporeopløsninger fra fem forskellige blade blev slået sammen til én prøve pr. sort pr. dag. Der blev lavet en fortyndingsserie (10^4 sporangier/ml og fortyndet med faktor 4). Fortyndingerne blev lavet efter, at opløsningerne havde været nedkølet til 4°C i 3 timer for at stimulere zoosporefrigørelse. Fra

hver fortynding blev der inficeret på 10 bladstykker i en petriskål (10 μ l sporangieopløsning pr. bladstykke, figur 6). Efter inkubation blev skålene anbragt i vækstrum ved 17°C. Efter 6 dage blev resultaterne opgjort ved at tælle, hvor mange af de 10 blade pr. skål, der var inficeret. Sporenes infektionsevne (IE) blev dernæst beregnet efter "most probable number" (MPN) beskrevet af Halvorson og Ziegler (1933).



Figur 6. Ved test af infektionsevne (IE) blev 10 bladskiver smittet med skimmel pr. fortynding. Efter inkubation blev antallet af blade med infektion og IE beregnet.

Metoden er oprindeligt udviklet til bestemmelse af levedygtige bakterier efter fortyndingsmetoden (Halvorson og Ziegler, 1933), og den giver et udtryk for infektionsevnen af sporangierne. Metoden benyttes i tilsvarende nordiske projekter vedrørende kartoffelskimmel (Lehthinen *et al.*, 2007).

2.4 Døgnvariation

Formålet er at undersøge, om der er en døgnvariation i produktion og infektionsevne af sporerne. I 2005 blev der i to udvalgte døgn (28/7 i Saturna og 11/8 i Kuras) foretaget indsamling af blade fra den mest sporulerende sort hver 4. time (kl. 08, 12, 16, 24 og 04). Bestemmelse af sporangiekoncentration i læsionen og smitteevnen af sporer blev udført fra top og bund af afgrøden, som ved de øvrige test.

2.5 Sporespredning

Formålet er at undersøge den daglige frigørelse og spredning af sporer fra kartoffelbladene. Frigørelse og spredning af sporangier blev målt ved at opsætte en Burkard sporefælde (www.burkard.co.uk) midt i forsøgsfeltet (figur 7). Sporefælden sugede 14,3 m³ luft pr. døgn, og det sporefangende tape blev udskiftet hver uge. Af det sporefangende tape blev der fremstillet præparater for hvert døgn, og antal sporangier pr. time blev talt i mikroskop. Antal sporangier pr. m³ og time blev herefter bestemt.

Der blev anvendt to sporefælder. Sporefælde 1 blev i 2005 placeret i sortsblandingen 8/6 – 18/7, dernæst i Bintje feltet 19/7 - 5/8 og endelig i Oleva feltet 5/8 – 14/9. I 2006 var sporefælde 1 placeret i Bintje feltet hele sæsonen. Sporefælde 2 var placeret hele sæsonen 2005 i sortsblandingen og i 2006 i Oleva feltet. Håndtering af sporefælde samt tælling af sporangier fulgte de samme principper som for tælling af pollen ved DMI (Joensen og Rasmussen, 2005; Petersen *et al.*, 1986).



Figur 7. Burkard sporefælde opsat i sortsblandingen Flakkebjerg i 2005. Fælden har et haleror, som sikrer, at indsugningen, som befinder sig under den cirkulære, horisontale metalskive, vender mod vinden. Smitsstof i form af sporangier suges ind i fælden ved hjælp af en motor, der i princippet virker som en støvsuger.

2.6 Infektion på fangplanter

Formålet er at undersøge de aktuelle infektionsforhold de enkelte dage og om de sporangier, som spredes i feltet, faktisk er infektionsdygtige. På baggrund af projektets erfaringer fra 2005, hvoraf det bl.a. fremgik, at de aktuelle infektionsforhold i marken var vigtige, blev det besluttet at supplere undersøgelserne i 2006 med daglig udsættelse af kartoffelplanter i forsøgsfelterne.

Spredning af sporangier fremgår af resultater fra sporefælden, men antal spredte sporangier pr. time siger ikke noget, om sporangierne er levende og kan inficere. For at inficere skal sporangierne lande i frit vand på en plante, således at svampens sværnesporer (zoosporer) kan frigøres og give anledning til spiring og infektion (jf. indledende afsnit om skimmelsens biologi). Infektion på fangplanterne ville afgøre, om de sporangier, som blev spredt i feltet, var infektionsdygtige.

Potter med Bintje blev dyrket i sporetætte vækstrum indtil dagen, hvor de blev udsat i marken. I perioden fra 26. juni til 20. august blev der hver dag udsat 8 fangplanter i henholdsvis Bintje og Oleva feltet. Fangplanterne blev anbragt midt i feltet tæt på sporefælden og skærmet fra selve forsøgsfeltet af en række planter af den resistente sort Sarpo Mira (figur 8). Dette blev gjort for at forhindre fysisk kontakt mellem fangplanter og planter i forsøgsfeltet.

Der blev udsat to hold fangplanter:

15-15 fangplanter: Fire fangplanter blev udsat ca. kl. 15 og hjemtaget efterfølgende dag kl. ca. 15. Fangplanterne blev overdækket med plastikposer og hjemtaget til vækstrum, hvor de blev anbragt uden poser i to døgn (figur 9). Herefter blev de overdækket med plastikposer indtil bedømmelse for angreb.

Hvis der sker en spredning af sporangier i morgentimerne, og der stadig er dug tilbage på planterne, kan der ske infektion på 15-15 fangplanterne, som har stået gennem natten og dermed har opnået dug.



Figur 8. Fangplante udsat i kartoffelmark ved Flakkebjerg i 2006.

8-15 Fangplanter: Fire fangplanter blev udsat tørre ca. kl. 8 morgen og hjemtaget samme dag kl. ca. 15. Planterne blev duschet med vand i marken for at give eventuelle sporangier mulighed for at spire og inficere planterne. Potterne blev overdækket med plastikposer og hjemtaget til vækstrum, hvor de blev anbragt indtil bedømmelse for angreb.



Figur 9. Fangplanter anbragt i vækstkammer. Flakkebjerg 2006.

Hvis der ikke kommer regn fra 8-15, kan der kun ske infektion på 8-15 planterne, hvis sporangierne lander på bladene og overlever, indtil de dusches med vand kl. 15. Undersøgelserne med 8-15 fangplanterne vil belyse betydningen af solens UV stråling for sporangiernes levedygtighed og infektionsevne.

Man kan dog forestille sig en situation, hvor overskyet vejr udsætter sporangiefrigørelsen til efter middag. I den situation skal frigjorte sporangier kun overleve relativt kort tid, inden de bliver duschet og dermed opnår gode betingelser for infektion. I en sådan situation forventes højere infektion på 8-15 fangplanter end 15-15 fangplanter.

Begge hold blev inkuberet i vækstrum ved 18°C i 7 dage. Herefter blev der bedømt for angreb af kartoffelskimmel (som % angrebet bladareal).

2.7 Spredning ved regnplask

Formålet er at undersøge betydningen af nedbør for lokalt spredning af skimmelsporer i marken. I 2005 blev der etableret et kartoffelareal på 24x200 m, med sorten Bintje. Feltet blev delt op i parceller på 10x24 meter. I hvert afsnit blev der kunstigt smittet (1000 sporangier/ml) 4 steder, 1-2 planter pr. sted den 22/6. Der blev smittet, før skimmel blev registreret fra andre kilder i området (figur 10).



Figur 10. I forsøget med regnplask blev de smittede planter dækket med plastikposer for at optimere angreb af kartoffelskimmel. Flakkebjerg 2005.

Den 6/7, hvor der var tydelige angreb på de smittede planter, blev der vandet med henholdsvis 20 mm eller 40 mm vand fra en vandingsbom med standard intensitet (ca. 200 mm/time). Vandingsintensiteten er "worst case" hvad angår intensitet og dermed splash effekt ved kunstvanding. Varigheden af nedbøren fra vandingsanlægget er kort i forhold til normalt regnvejr. For at eftervise hvilken spredningsrisiko, der er i en normal nedbørssituation, blev vandingen foretaget på en dag med let regnvejr og efterfølgende registreret for spredning af skimmel fra felterne (i uvandede og vandede afsnit) i forskellig afstand fra smittefelterne. Behandlingerne er udført med 4 gentagelser og indeholder også et felt uden vanding.

2.8 Model til beregning af infektionstryk, hspo

Til beregning af infektionstryk anvendes et dagligt "skimmel risiko tal", som basalt set beregner risikoen for sporulering. Modellen kaldes HSPO (Hours of SPORulation), og den er defineret ved perioder med mere end 10 sammenhængende timer, hvor $RH > 88-90\%$ og temperatur $> 10^\circ\text{C}$. Hvis der eksempelvis er 10 timer med høj luftfugtighed, men kun 7 af disse timer har temperatur $> 10^\circ\text{C}$, beregnes HSPO til 7 (Hansen, 2002).

Modelberegninger er afhængige af kvaliteten af input data. Daglige HSPO og glidende sum af HSPO vil blive beregnet med vejrdata fra Flakkebjerg klimastationen, med GRID interpolerede data og data fra Metos vejrstationen på Flakkebjerg. Beregningerne sammenholdes med markdata for sygdomsudvikling, sporangiefangster og infektion på fangplanter. Målet er dels at undersøge validiteten af HSPO som risikoindeks for "Skimmelvejr" og dels at undersøge følsomheden af HSPO for forskellige vejrdata.

Beregning af infektionstryk indgår i Blight Management til beregning af dosis af fungicid (se afsnit 2.14 og Appendiks E-F).

2.9 Overlevelse af sporangier eksponeret for solstråling

UV stråling er den mest betydende faktor for reduktionen i overlevelsesevnen af sporangier sammenlignet med temperatur og luftfugtighed (Mizibuti *et al.*, 2000). Der er opstillet to modeller for sammenhængen mellem standard spiringshastighed af sporangier (Y) og den kumulative stråling fra solen, målt som MJ/m²:

$$Y = 1.04 \exp(-1.29 * \text{stråling}) \quad (\text{sum af stråling MJ/m}^2 \text{ for timerne 11, 12 og 13})$$

$$Y = 0.79 \exp(-1.21 * \text{stråling}) \quad (\text{sum af stråling MJ/m}^2 \text{ for timen 11})$$

Globalstråling, MJ/m² = Globalstråling, w/m² * 0.0036 (omregning fra W/m² til MJ/m²)

I forsøget med fangplanter (jf. afsnit 2.6), blev 8-15 planterne udsat tørre kl. 8. og duschet kl. 15 ved hjemtagning. Ved at kombinere antal sporangier (målt som sporangiefangster i sporefælden) med modellen for standard spiringsrate (sporangier som overlever UV strålingen), giver dette et mål for andelen af levedygtige sporangier den givne dag:

$$\text{Levedygtige sporangier} = \text{Dagligt antal sporangier} * \text{Standard spiringsrate}$$

Hvis det antages, at HSPO (jf. afsnit 2.8) er et godt mål for sporangiedannelse, kan vi lave et indeks baseret på HSPO og standard spiringsrate:

$$\text{Risikoindeks for levedygtige sporangier} = \text{HSPO} * \text{Standard spiringsrate}$$

Model med risikoindeks for levedygtige sporangier blev udviklet efter analyse af data fra 2006 og indgår ikke i den testede model af Blight Management, som foregik i sommeren 2006 (afsnit 2.14 og 2.16).

Da sporangierne ikke altid frigøres samme dag, som de er dannet, kan man beregne dette indeks som en sum over flere dage. Dette indeks kan beregnes operationelt med historiske - og prognose vejrdata, fordi HSPO anvender timedata for RH og temperatur og standard spiringsrate anvender timedata for stråling (globalstråling, W/m²).

2.10 Analyse af data for sporespredning pr. time

Til de statistiske analyser er data for sporefangst i Burkard sporefælderne omregnet til antal sporer/m³/time og transformeret til

$$y' = \ln(y+10),$$

y = antal sporer/m³/time

y' er den ln-transformerede værdi af y . Denne transformation reducerer den skæve fordeling af data og overfører multiplikative effekter i data (som skyldes vekselvirkninger mellem faktorerne, f.eks. miljøforholdene), til additive effekter. Dette forbedrer egnethed af data til videregående analyser og forenkler disse. Daglige gennemsnitstal af y' er herefter beregnet, og en sæson trend (Y'_i hvor i = dag af året) blev tilpasset til disse efter en metode af Velleman & Hoaglin (1981), som udglatter observationer lokalt ved hjælp af glidende medianer. Trenden Y'_i er et mål for den syge afgrødes evne til at producere sporer og kan kaldes "sæson sporuleringspotential". For at kunne adskille effekterne af vejret og af sporuleringspotential af afgrøden (Y') på sporefangsttallene, måtte sporefangstraterne justeres for trenden Y' . Trendjusterede sporefangstrater (dy'/dt) blev beregnet baseret på ln-transformerede sporefangstdata, som:

$$dy'/dt = [(y'_{t_{2i}} - y'_{t_{1i}}) / (t_{2i} - t_{1i})] / Y'_i$$

hvor t_{2i} og t_{1i} = tid i timer af en pågældende dag i , $t_{2i} - t_{1i}$ = interval af 3 timer og divisionen med Y'_i er for at få en justering af sporefangstraterne for sæson trend. Kun sporefangstdata for dage med gns. > 1 spore/m³/time er medtaget, og kun positive sporefangstrater blev taget med i efterfølgende analyser.

Hvor mange sporer, der spredes i marken, afhænger af:

- Sporuleringssevnen (sporuleringspotential) af den syge afgrøde som er udtrykt i Y' ,
- De forudgående vejrtilstandes evne til at fremkalde sporulering og
- Vejrtilstandenes virkning på sporespredning.

Med henblik på at analysere sammenhæng mellem vejr og sporespredning, blev trend-justerede sporefangstrater (dy'/dt) for hver time korreleret med variabler, der repræsenterer: a) **timevis status** (x) af forudgående vejrforhold der påvirker sporulering (f.eks. luftfugtighed, bladfugt, temperatur, m.m.) og b) **timevise forandringer** (dx/dt) af vejrforholdene over tiden der påvirker sporespredning (f.eks. forandringer i luftfugtighed, bladfugt, temperatur, m.m.). Dette blev gjort som "lag-korrelation" med forskellige "tids-vinduer", det vil sige for:

- 1) Forskellige tidsforskydningstrin (= lag = timer i tidsforskydning mellem observerede sporefangstrater (som afhængig variable) og uafhængige variabler, der beskriver forudgående vejrforhold).
- 2) Tidsperioder (= periode = timers længde af en tidsperiode over hvilke en uafhængig vejrvariabel er beregnet, bagud fra det pågældende lag).

Status af vejrvariablerne blev beregnet som gennemsnit over de pågældende tidsperioder, mens forandringer af vejrvariablerne blev beregnet som difference over tiden. Korrelations-koefficienterne, der beregnes under lag-

korrelationen indikerer styrken af sammenhæng mellem sporefangstraterne og vejrvARIABLENE i de forskellige tidsvinduer.

2.11 Måling af vejrdata i projektet

Måling af temperatur, relativ luftfugtighed, nedbør, overfladefugt og globalstråling blev foretaget dels ved DMI vejrstation og dels ved en mobil vejrstation af typen iMetos fra firmaet Pessl Instruments (www.metos.at). Målingerne foretages i 2 m højde, som er standard for måling af vejrdata ved ordinære klimastationer. På Flakkebjerg er der anvendt data fra den lokale DMI vejrstation på kortklippet græs. På den samme græsplæne blev Metos vejrstationen opstillet. Forsøgsfeltet var ca. 500 m fra vejrstationen, og det er antaget, at forholdene ved vejrstationer er repræsentative for forholdene i forsøgsfeltet. GRID data for Flakkebjerg er et arealbaseret gennemsnit af målinger ved Flakkebjerg samt de omkringliggende 5-6 vejrstationer på Sjælland. Forskellen mellem de forskellige datakilder er bl.a., at pålidelige målinger af bladfugt kun er tilgængelige fra Metos stationen. Desuden at GRID data og 7 døgnsprognosen kun har målinger af nedbør på døgnniveau. (tabel 1). Data på tre-times og 6 times niveau interpoleres ved lineær interpolation således, at der opnås time-data. Dette antages at give pålidelige værdier for 3-times data, men kun i mindre grad for 6-times data (7-døgnsprognosen). I projektet har der været visse problemer med nogle af sensorerne på både DMI stationen og Metos. Dette er forklaret i Appendiks G.

Tabel 1. Type af vejrdata, meteorologiske parametre og deres tidsopløsning.

Type vejrdata	Temperatur	RH	Nedbør	Bladfugt	Global Str.
DMI Flakkebjerg	Timeniveau	Timeniveau	Timeniveau	Nej	Ja
GRID Flakkebjerg	3-timeniveau	3-timesniveau	Døgnniveau	Nej	Ja
Metos	Timeniveau	Timeniveau	Timeniveau	Ja	Ja
2-døgns prognose	Timeniveau	Timeniveau	Timeniveau	Nej	ja
7-døgns prognose	6-timeniveau	6-timeniveau	Døgnniveau	Nej	ja

2.12 Forbedrede prognoser for relativ luftfugtighed

Der er foretaget flere ændringer i DMIs prognosemodel med det formål at forbedre prognoserne for RH ved jordoverfladen. Ændringerne består i det væsentlige af modifikationer i formler og klimaparametre, som har stor betydning for udveksling af varme og fugtighed mellem atmosfæren og jordoverfladen. Ændringerne er beskrevet i flere detaljer i afsnit 3.11 samt Appendiks B og C.

2.13 Nedskalering af DMI-HIRLAM prognoser til lokale prognoser

HIRLAM prognoser beregnes som gennemsnit for grid på 25 til 100 km². Det er meget tænkeligt, at der indenfor disse grid er lokale forhold, som påvirker vejrliget, og som vil bevirke systematiske fejl i prognoserne. Hvis det er tilfældet, kan prognoserne forbedres ved en kalibrering til målinger foretaget med en lokal vejrstation.

Der er indledningsvist foretaget en statistisk analyse af et stort antal prognoser fra 2003 og 2004 sammenholdt med de målte vejrdata på DJFs vejrstationer. Analysen viste, at der kan opnås en væsentlig forbedring af prognoserne ved

en kalibrering med målte data for dagene forud for prognosen. Den anvendte metode er simpel eksponentiel udglatning, som giver en glidende justering af korrektionsværdierne. Modellen blev derefter implementeret med data fra projektets vejrstationer. Med kalibreringen justeres prognosen således for den enkelte mark med den faktiske lokale situation i dagene forud for prognosen. Da det især er luftfugtighed om natten, der har betydning for risikoen for kartoffelskimmel, er der indført den modifikation, at der udelukkende kalibreres til RH om natten. Derved slår kalibreringen fuldt igennem med hensyn til den tid på døgnet, som er vigtig for forudsigelse af risiko for kartoffelskimmel.

Mere præcist er nedskaleringen foretaget således:

Lad T_OBS_d , RH_OBS_d og SH_OBS_d være gennemsnittet dag d af timeværdierne kl. 00 til 08 og 22 til 24 af målt temperatur, målt relativ luftfugtighed og beregnet specifik luftfugtighed ved en given vejrstation, og lad T_HIR_d , RH_HIR_d og SH_HIR_d være de tilsvarende værdier fra DMI-HIRLAM i AMIS-griddet svarende til vejrstationens beliggenhed. Der beregnes korrektionsværdier for temperatur og specifik luftfugtighed ved formlerne

$$T_KOR_d = a \times T_KOR_{d-1} + (1-a) \times (T_OBS_d - T_HIR_d)$$

$$SH_KOR_d = a \times SH_KOR_{d-1} + (1-a) \times (SH_OBS_d - SH_HIR_d)$$

Kalibreringen for de efterfølgende dage $n = 1,2$ er foretaget ved formlerne

$$T_KAL_{d+n} = T_HIR_{d+n} + T_KOR_d$$

$$SH_KAL_{d+n} = SH_HIR_{d+n} + SH_KOR_d$$

Den kalibrerede prognose for relativ luftfugtighed, RH_KAL_{d+n} , er beregnet ud fra de kalibrerede prognoser for temperatur og specifik luftfugtighed.

Udjævningsfaktoren er sat til $a = 0,75$, som giver en relativ hurtig tilpasning til de observerede værdier, og startværdierne for kalibreringsfaktorerne er sat til 0.

I den statistiske analyse af resultaterne fra 2006 sammenlignes den observerede relative luftfugtighed (RH) med den prædikterede RH fra henholdsvis den originale 2 døgns DMI-HIRLAM prognose og den kalibrerede 2 døgns prognose. Der er anvendt data fra prognoser beregnet fra kl. 12 UTC, det vil sige kl. 14 dansk sommertid. Data er fra de tre forsøgssteder anvendt i projektets markforsøg (Hedegård, Ytteborg og Flakkebjerg, jævnfør afsnit 2.16). For hvert af de to døgn i prognosen er beregnet antallet af timer med $RH \geq 90\%$. Hvis dette antal er mindst 10, er døgnet klassificeret som "skimmelvej". Sammenligningen foretages med den klassiske metode til at evaluere en test-diagnose med en kendt diagnose, hvor der opstilles følgende 2x2 kontingenstabel:

Tabel 2. 2x2 kontingenstabel til evaluering af test diagnose med kendt diagnose (SP: sand positiv, SN: sand negativ, FP: falsk positiv og FN: falsk negativ).

Kendt diagnose	Test	
	Sand	Falsk
Positiv	SP	FP
Negativ	SN	FN

Tabel 3. Test-diagnosen vurderet ved 4 statistiske kriterier.

Sensitivitet	$SP / (SP+SN)$	Andelen af sande test hvor diagnosen faktisk er positiv
Specificitet	$FN / (FP+FN)$	Andelen af falske test hvor diagnosen faktisk er negativ
Positiv prædiktiv værdi	$SP / (SP+FP)$	Andelen af positive diagnoser som testen påviser korrekt
Negativ prædiktiv værdi	$FN / (SN+FN)$	Andelen af negative diagnoser som testen påviser korrekt

2.14 Model for beslutningsstøtte, Blight Management (BM)

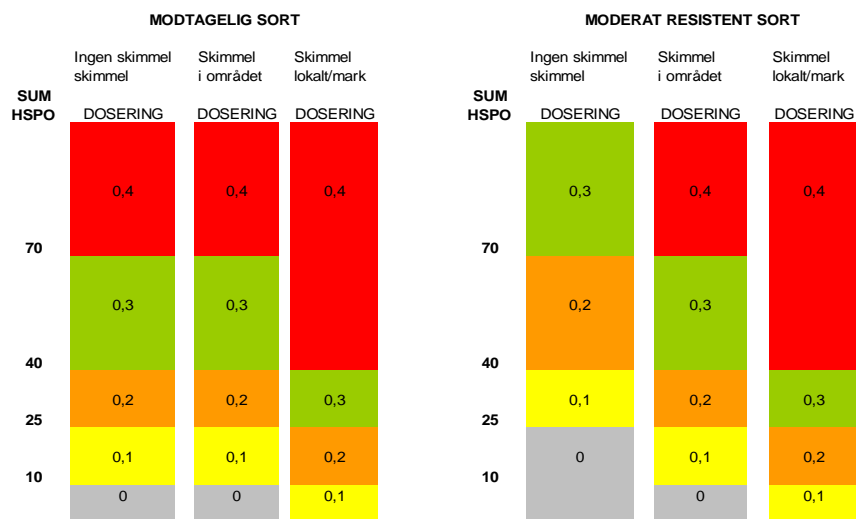
I projektet er der arbejdet med et beslutningsstøttesystem Blight Management (BM). Systemet er en videreudvikling af det tidligere system "Skimmelstyring" (jf. afsnit 1.4).

I BM anvendes en algoritme, hvor temperatur, relativ luftfugtighed og timeværdier omregnes til en prognose for "skimmelvej" (jævnfør afsnit 2.8). Denne prognose for "skimmelvej" er i nærværende projekt forbedret, så den kan anvendes direkte i BM sammen med interpolerede vejrdata fra landsdækkende vejrstationer (grid-data). For at tilpasse klimaprognosen fra DMI til markniveau er der i nærværende projekt udviklet nedskaleringsmodel (jævnfør afsnit 2.13), der løbende sammenligner de historiske prognoser med det faktisk registrerede vejr i forsøgsmarken ved hjælp af en lokal vejrstation af typen METOS (beskrevet i afsnit 2.11 og Appendiks G). Stationerne er via mobiltelefon i forbindelse med en central enhed i Østrig, som løbende forsyner PlanteInfo med vejrdata fra forsøgslokaliteterne. På basis heraf udregnes en korrektionsfaktor for de kommende prognoser på markniveau.

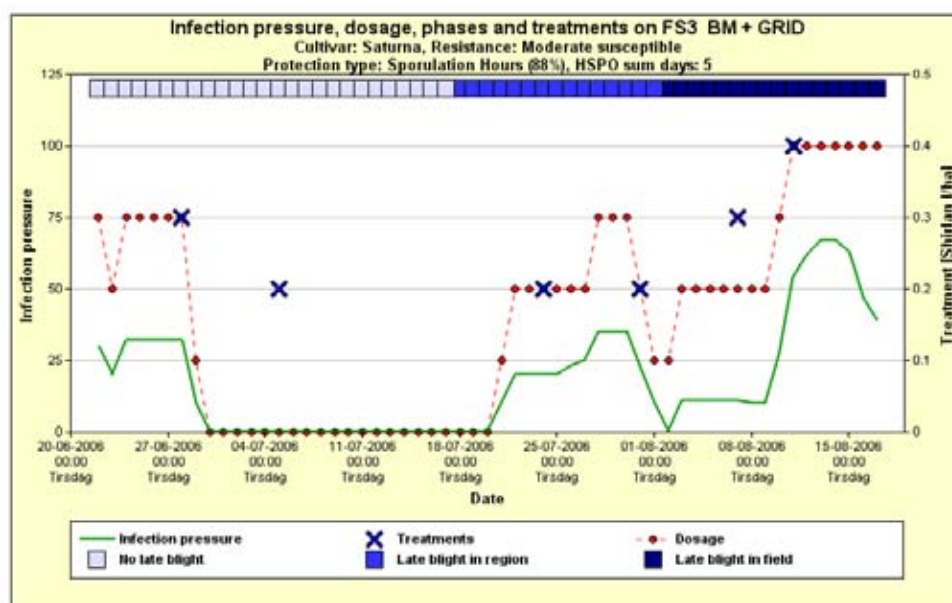
Selve beslutningsgrundlaget for sprøjtning i BM sker på basis af HSPO, der anvendes som et mål for "skimmelvej" (jævnfør afsnit 2.8). Den aktuelle dosis af fungicid justeres efter infektionstrykket (udtrykt ved HSPO) og angreb af kartoffelskimmel i marken. Den anvendte model for beregning af doser fremgår af figur 11 samt Appendiks F.

I projektet blev der udviklet en projekthjemmeside, hvor infektionstryk og aktuel dosering i BM kan aflæses til brug for den aktuelle sprøjtning i markforsøgene (figur E1 i Appendiks E).

I figur 12 er vist, hvordan infektionstrykket indgår i beregning af bekæmpelsesstrategi i Blight Management. I figuren ses infektionstryk, anbefalet dosis af fungicid og udførte behandlinger i forsøg med test af BM. Infektionstrykket varierer hen gennem sæsonen, og den anviste dosering er korreleret med infektionstrykket.



Figur 11. Principskitse for valg af fungiciddosering i BM afhængig af aktuel smitterisiko (HSPO), risiko for skimmel i området samt sortens modtagelighed over for kartoffelskimmel. Doseringen er angivet som l/ha af fungicidet Shirlan (fluzinam).



Figur 12. Beregning af infektionstryk, anbefalet dosis af fungicid og udførte behandlinger i forsøg med test af Blight Management ved Flakkebjerg i 2006.

2.15 Model til simulering af epidemiforløb (LB 2004)

Komplekse simuleringmodeller tillader mere detaljerede og specifikke analyser af årsag og effekt af biologiske systemer. Flere sådanne simuleringmodeller har været anvendt med succes (Waggoner, 1968; Bruhn & Fry, 1981; Van Oijen, 1995). Bruhn og Frys arbejde er videreført op til i dag, hvor Cornell simulatoren stadig anvendes på Cornell University, USA. I nærværende projekt anvendes Cornell simulatoren LB 2004, som et redskab til at analysere de biologiske data, som indsamles ved Forskningscenter Flakkebjerg.

Modellen kræver timedata for temperatur og RH, biologiske data for kartoflernes fremspiring og for den pågældende sorts resistensniveau. Sidst men ikke mindst data for *P. infestans* karakteristika med hensyn til latensperiode, sporuleringssevne og væksthastighed af læsioner. Karakteristika for isolater, som giver angreb i forsøget er ikke målt, men der er anvendt data fra målinger foretaget i 2003 og 2004 (Lehthinen *et al.*, 2008). Simulering af epidemien sammenholdes med målte data fra forsøget og det parametersæt fra 2003, som passer bedst, anvendes i det videre forløb. Modellen beregner de epidemiologiske trin som sporulering, spredning og infektion, og resultater fra udvalgte delmodeller sammenholdes med biologiske data indsamlet i semi-field forsøget ved Flakkebjerg.

Det beskrives i afsnit 3.7, hvordan simulatorerne simulerer sygdomsudviklingen i forsøgene ved Flakkebjerg, og beregninger af infektionstryk baseret på HSPO sammenholdes med simulatorens beregninger af tilsvarende indeks for sporangiedannelse.

2.16 Validering af modeller og beslutningsstøtte i markforsøg

Formålet med undersøgelserne er at validere de udviklede modeller i markforsøg. I 2005 og 2006 er der gennemført undersøgelser med beslutningsstøttesystemet Blight Management med fire forskellige typer vejrdata (BM1-BM4 beskrevet nedenfor) på tre forsøgssteder; Try i Nordjylland, Grove i Midtjylland og ved Flakkebjerg på Sjælland. Forsøgene blev gennemført i to sorter med forskellige resistensegenskaber (den modtagelige sort Saturna og den mere resistente sort Kuras). Forsøgsplan er beskrevet nedenfor og i tabel 4.

Forsøgsled 1: Rutinebehandling

I forsøgene er de forskellige modeller sammenlignet med rutinebehandling med ugentlige behandlinger 0,3 liter Shirlan pr. ha (forsøgsled 1, tabel 4). Denne behandling anvendes ofte som standard i forsøg med kartoffelskimmel for at kunne sammenligne resultaterne og er ikke udtryk for normalpraksis.

Forsøgsled 2: METOS klimastation og nedskaleringsmodel

I BM 1 (forsøgsled 2, tabel 4) er der anvendt en METOS klimastation og nedskaleringsmodel som grundlag for BM.

Forsøgsled 3: Grid-data og *ingen* nedskalering

I BM 2 (forsøgsled 3, tabel 4) er der kun anvendt grid-data og *ingen* nedskalering til markniveau. For både BM1 og BM2 anvendes en variabel fungiciddosering afhængig af skimmel inden for de kommende 2½ døgn. Model for justeret fungiciddosering fremgår af figur 11 og Appendiks F. BM1 og BM2 blev afprøvet både i 2005 og 2006.

Forsøgsled 4: Forskellig 2005 og 2006.

I BM 3 (forsøgsled 4, 2005, tabel 4) udløses en behandling kun på baggrund af DMIs vejrprognose, og der anvendes en fast dosering på 0,3 l/ha Shirlan. Denne version blev kun testet i 2005. På baggrund af erfaringer fra projektets undersøgelser i 2005 samt observationer fra praksis udbygges BM2 i 2006 med en bladfugtsmåling og kaldes BM4 (forsøgsled 4, 2006, tabel 4).

Forsøgsled 5: Plant Plus 2006 (kun Flakkebjerg)

Det kommercielle hollandske beslutningsstøttesystem Plant Plus (Ratjes *et al.*, 2004) afprøves i 2006 på Flakkebjerg (forsøgsled 5, 2006, tabel 4). Plant Plus bygger klimaregistreringer fra egne klimastationer.

Beslutningsstøttekomponenterne i Plant Plus er ikke kendte.

Tabel 4. Forsøgsplan for markforsøgene i 2005 og 2006.

LED	2005
1	Rutinebehandling med Shirlan (0,3 l) i 7 dages interval.
2	BM 1. Anvendelse af DMIs Gridnet <i>med</i> nedskalering til markniveau ved hjælp af lokal klimastation. Variabel dosering (Appendiks F).
3	BM 2. Anvendelse af DMIs Gridnet <i>uden</i> nedskalering. Variabel dosering (Appendiks F).
4	BM 3. Sprøjtning kun på baggrund af DMIs vejrprognose. Fast dosering.
2006	
1	Rutinebehandling med Shirlan (0,3 l) i 7 dages interval.
2	BM 1. Anvendelse af DMIs Gridnet <i>med</i> nedskalering til markniveau ved hjælp af lokal klimastation. Variabel dosering (Appendiks F).
3	BM 2. Anvendelse af DMIs Gridnet <i>uden</i> nedskalering. Variabel dosering (Appendiks F).
4	BM 4. Som model 2 samt inddragelse af bladflugt til beregning af infektionsrisiko.
5	Model 5. PlantPlus.

Forsøgene er anlagt med parcellstørrelse 4,5x8 m brutto, 3x7 m netto. For at undgå for kraftige angreb af kartoffelskimmel er de ubehandlede parceller nedvisnet ved angreb >1%.

Beslutningsgrundlaget i BM sker på basis af HSPO, der anvendes som et mål for "skimmelvej" (jævnfør afsnit 2.8). Model for beregning af doser ud fra niveauet af HSPO og angreb af kartoffelskimmel i marken fremgår af figur 11 og Appendiks F.

BM styres fra en projekthjemmeside, hvor infektionstryk og aktuel dosering kan aflæses til brug i markforsøgene (Appendiks E).

2.17 Justering af metoder fra 2005 til 2006

I 2005 var det ikke planlagt, at der skulle indsamles data lørdag og søndag, men ved efterfølgende databehandling blev det set, at der var huller i datasættet (jævnfør f.eks. figur 15). I analyserne af data fra 2005 var det desuden klart, at overlevelse og infektion af sporangier var vigtige for forståelsen af infektionsbetingelserne og start af epidemierne. I 2006 blev det derfor besluttet også at indsamle blade i weekender samt supplere undersøgelserne med daglig udsættelse af fangplanter (inklusive weekend) over 8 uger for at få et mere fuldstændigt datasæt.

Burkard sporefælden i sortsblandingen fungerede som planlagt, men antal sporer/m³ var mindre end forventet. En ekstra sporefælde blev opsat i felterne for at fange sporer fra et mere homogent felt med kun en sort. I 2006 blev der udført forsøg med 2 sorter (Bintje og Oleva) i større homogene felter mod 4 sorter i rækkevis blanding i 2005. Med de valgte sorter skulle der være angreb af kartoffelskimmel fra ca. 20. juni til august.

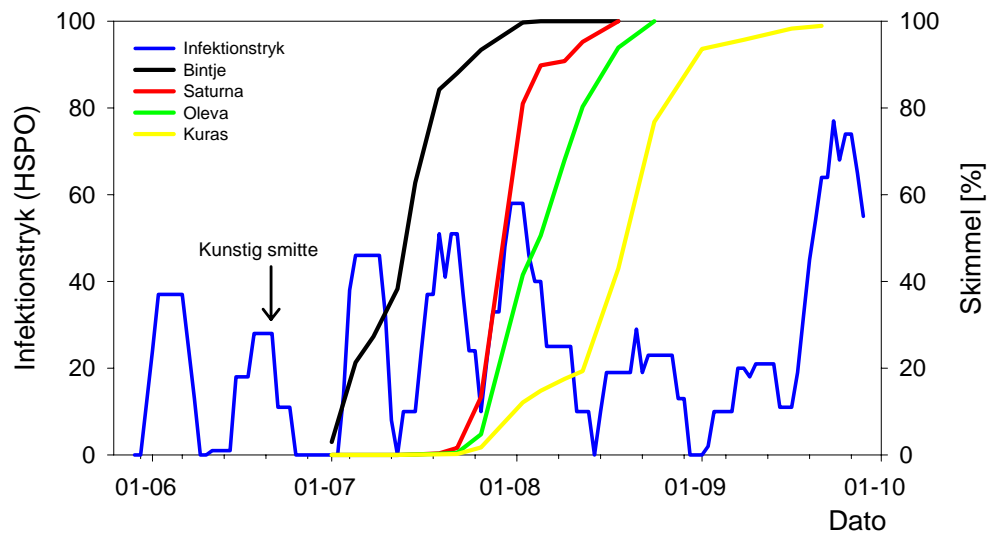
3 Projektets resultater

3.1 Udvikling af skimmel-epidemi 2005 og 2006 på Flakkebjerg

Sommeren 2005 var regnfuld, og vækstsæsonen er karakteriseret ved megen nedbør og køligt vejr i starten af juni samt en relativt tør og varm første halvdel af juli måned. Herefter indtrådte en meget nedbørsrig periode fra tredje uge af juli. Vækstsæsonen 2006 er karakteriseret ved en relativt kølig og tør anden halvdel af juni måned. Juli måned var ekstremt tør og varm som i resten af landet. I sidste uge af juli måned skete der et markant vejromskift til mere fugtigt og køligt vejr. Dette vejr startede alvorlig udvikling af skimmel ved Flakkebjerg.

Vejrforhold ved Flakkebjerg og Danmark generelt 2005-2006 er nærmere beskrevet i Appendiks A.

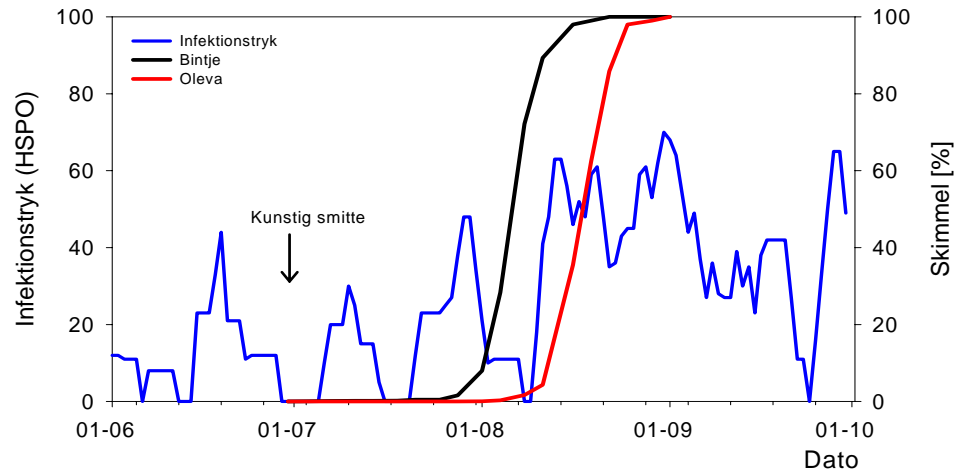
I **2005** blev der smittet med sporangier af kartoffelskimmel den 22. juni i sorten Bintje, og der udviklede sig et kraftigt angreb allerede i begyndelsen af juli. De øvrige sorter blev angrebet senere, og den mest resistente sort, Kuras fik først angreb i august (figur 13). Den første epidemiske udvikling i forsøgene skete i midten af juli i Bintje (i relation til første infektionstop, figur 13), hvor megen fugt fra nedbør og varmt vejr gav gode muligheder for både sporulering og infektion (højt infektionstryk).



Figur 13. Udvikling af kartoffelskimmel i 2005 i sortsblandingen af – fra venstre mod højre: Bintje, Saturna, Oleva og Kuras sammenholdt med infektionstryk. Kunstig smitte 22/6 2005. Ved et højt infektionstryk er der en relativt høj risiko for dannelse af smitstof. Infektionstrykket er lavt fra 1 til 25, middel fra 25-50 og højt, når det er højere end 50. Infektionstryk er beskrevet i afsnit 2.8.

I **2006** blev der smittet med kartoffelskimmel i Bintje første gang den 28. juni. Allerede efter 5 dage (3/7) kunne de første små infektioner ses i forsøgsfeltet, men på grund af tørre vejrforhold udviklede angrebet sig ikke (figur 14).

Derfor blev der smittet igen den 5. juli og 11. juli. Der kunne hver dag konstateres svagt sporulerende læsioner på enkelte blade, men først fra 27. juli, hvor den første regn kom, udviklede angrebet sig meget kraftigt (figur 14). Fra 28. juli til 8. august udviklede angrebet sig i feltet sig fra ca. 2% angrebet bladareal til 72% angrebet bladareal, og den 16. august var alle planter ødelagt af skimmel. I det nærliggende felt med Oleva blev de første svage angreb konstateret den 1. august, og i sidste halvdel af august udviklede angrebet sig her epidemisk (figur 14).



Figur 14. Udvikling af kartoffelskimmel i 2006 i kartoffel sorterne Bintje og Oleva sammenholdt med infektionstryk (Infektionstryk er beskrevet i afsnit 2.8). Kunstig smitte i Bintje 28/6 og 5/7, i Oleva d. 11/7 2006.

Som det fremgår af figur 13 og 14 starter epidemierne forskudt for hinanden. Det skyldes dels, at sorterne har forskellig modningshastighed (vækstperiodens længde) og dels forskellig grad af resistens overfor kartoffelskimmel.

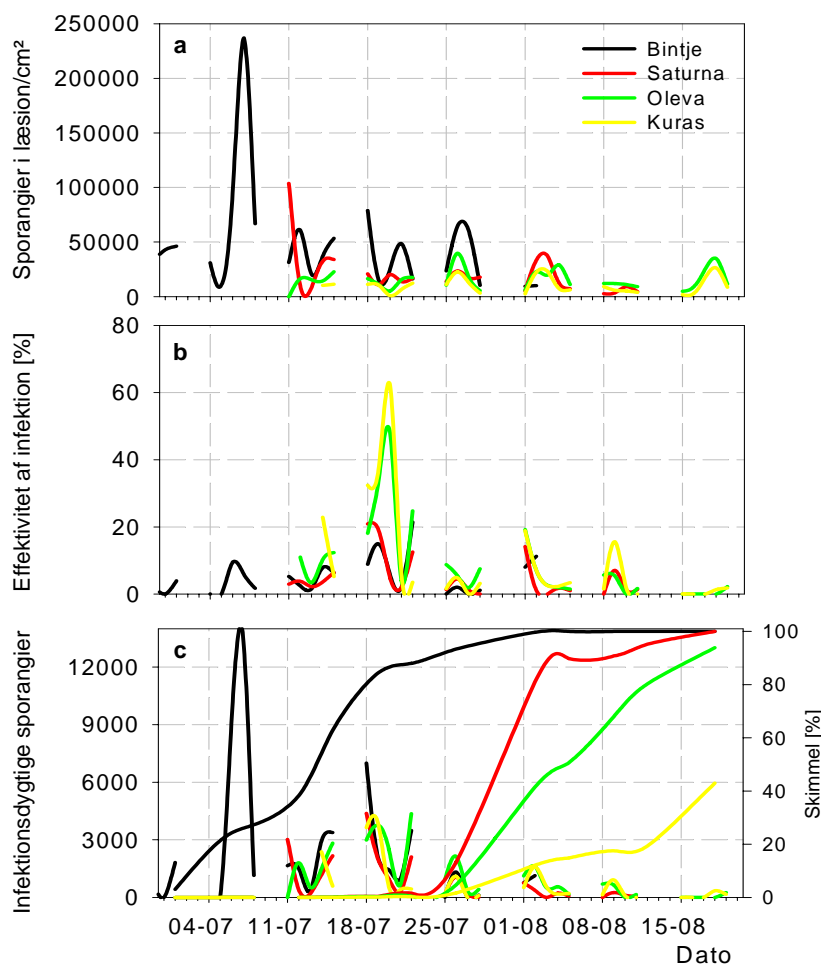
3.2 Produktion af sporangier over tid

Der blev indsamlet blade med læsioner af kartoffelskimmel hver morgen og mængden af sporangier i læsionerne (produceret i nat og morgentimerne) blev bestemt i laboratorium, som beskrevet i afsnit 2.2-2.3.

3.2.1 Produktion og levedygtighed af sporangier i løbet af sæsonen

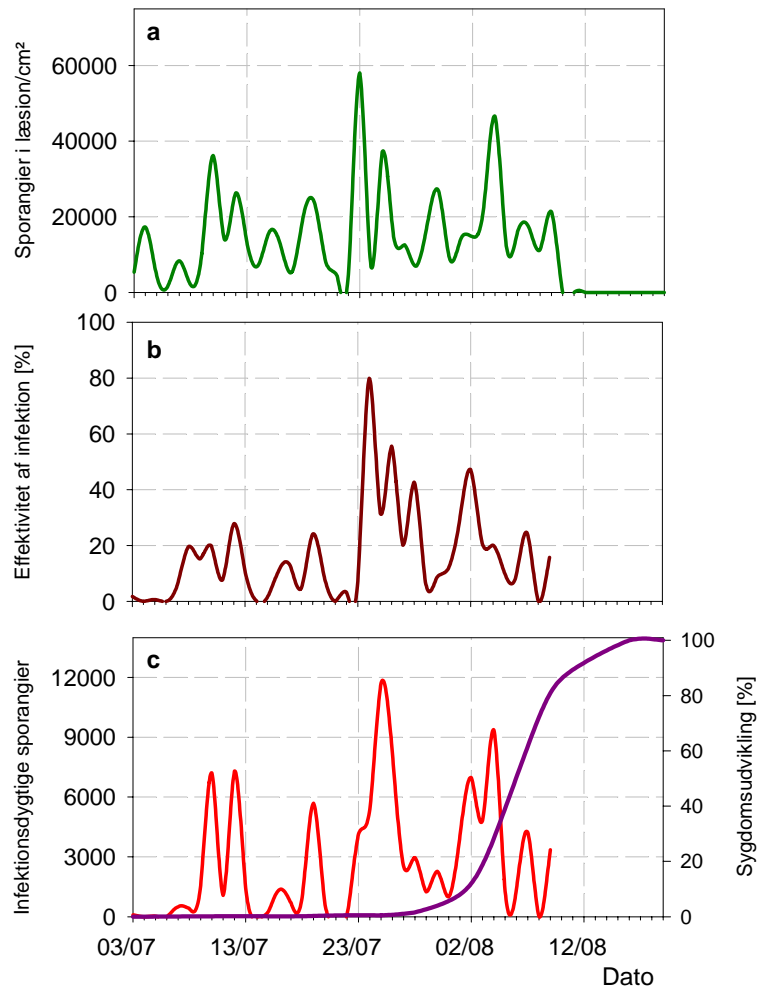
I **2005** var der en stor sporeproduktion i sorten Bintje i starten af juli (figur 15a) sammenfaldende med kraftig epidemisk udvikling af kartoffelskimmel i sorten (figur 15c). Produktionen i de andre sorter var ikke så markant, men der kunne ses sporeproduktion hele sæsonen med faldende tendens sidst i sæsonen (figur 15a). Det bemærkes, at datasættet ikke er sammenhængende på grund af manglende observationer i weekender, hvilket forklarer de afbrudte kurver i figur 15. I juli, hvor den største epidemiudvikling fandt sted, var sporangierne generelt i stand til at inficere Bintjeplanterne, men med betydeligt udsving omkring den 14.-20. juli (figur 15b). Effektiviteten af infektion var relativt størst for alle sorter ca. 18.-20. juli. Den største effektivitet (40-60%) blev målt for sporangier indsamlet på henholdsvis Oleva og Kuras (figur 15b). Fra der sker en infektion til visuelle symptomer, går der

ca. 5 dage. Det er således sandsynligt, at infektionsdygtige sporangier fra 18.-20. juli (figur 15b) bevirkede mange infektioner i den periode og startede den kraftige sygdomsudvikling, som blev synlig ca. 5 dage senere fra ca. den 25. juli og frem (figur 15c).



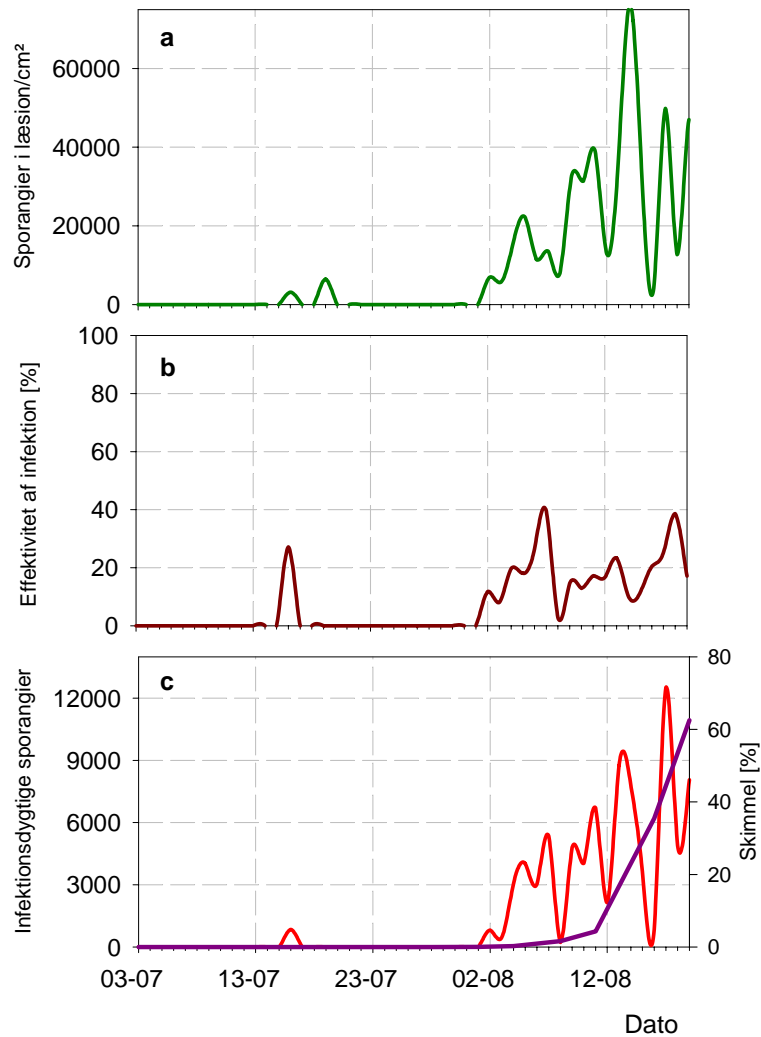
Figur 15. Produktion af sporangier 2005. a) Antal sporangier pr. arealenhed læsion i Bintje, Saturna, Oleva og Kuras. Gennemsnit af 5 blade pr. sort fra bunden af afgrøden, b) Infektionsevne (IE) af sporangier fra læsioner af kartoffelskimmel i Bintje, Saturna, Oleva og Kuras. Blade udtaget hver morgen ca. kl. 8, hvor der stadig var høj luftfugtighed og c) Gennemsnit af antal levedygtige sporangier pr. cm² bladareal over sæsonen fra Bintje, Saturna, Oleva og Kuras. Farve legend angivet i figur a er også gældende for figur b og c.

I **2006** var det vanskeligt at få etableret et angreb på grund af det varme vejr i juli (jævnfør afsnit 3.1 samt figur 14), og der blev smittet 28. juni, 5. og 11. juli i forsøgsfelterne. I sorten **Bintje** var der færre infektionsdygtige sporangier i den første tredjedel af juli end senere på sæsonen (figur 16a). Enkelte læsioner udvikles på de smittede planter, men først fra sidste uge af juli udvikler skimmelen sig i forsøgsfeltet (figur 14 og 16c). Til gengæld ødelagde skimmelen feltet med Bintje totalt på ca. 14 dage, hvor det tilsvarende tog en måned i 2005 (figur 13 og 15c).



Figur 16. Produktion af sporangier, Bintje 2006 a) Antal sporangier/cm² i læsioner gennem sæsonen, b) Infektionsevne og c) Antallet af infektionsdygtige sporangier, beregnet som antal sporangier (a) ganget med infektionsevnen (b) divideret med 100.

I sorten **Oleva, 2006**, starter epidemien i første uge af august (figur 14 og figur 17). Infektionsevnen af sporangier indsamlet fra læsionerne er størst (40%) den 7. og den 17. august (figur 17b), og der er mange infektionsdygtige sporangier den 7., 11., 13. og 17. august (figur 17c). Efter beregning af HSPO (jf. afsnit 2.8) med Metos vejrdato er der i perioden 1.-24. august risiko for sporulering i 16 ud af 24 dage. Fra 6.-9. august er der 4 dage uden risiko for sporulering (tabel D1, Appendiks D). Måske derfor er der næsten ingen infektionsdygtige sporangier den 8. august (figur 17).

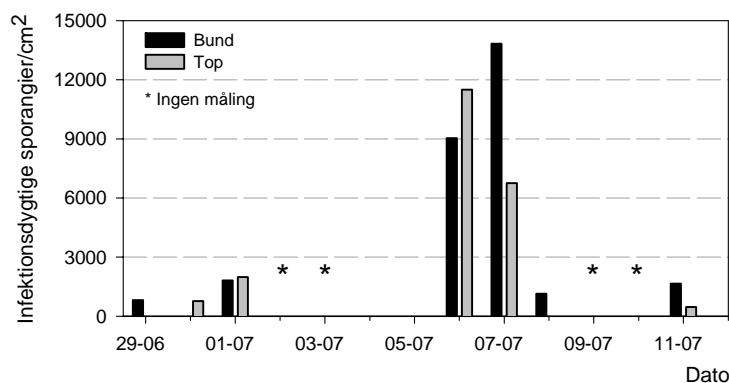


Figur 17. Produktion af sporangier, Oleva, 2006. a) Antal sporangier/cm² i læsioner gennem sæsonen, b) Infektionsevne og c) Antallet af infektionsdygtige sporangier, beregnet som antal sporangier (a) ganget med infektionsevnen (b) divideret med 100.

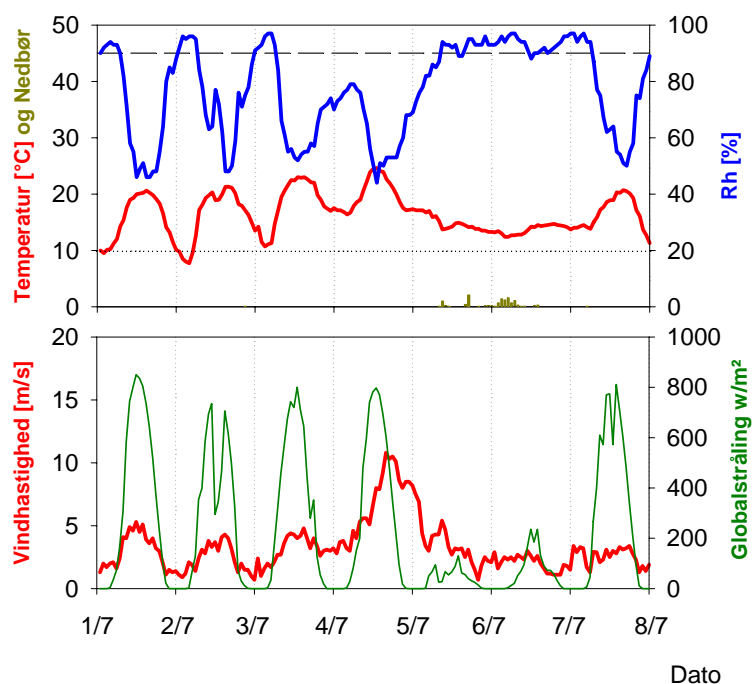
Sammenhæng mellem forskellige vejrvariable (RH, temperatur mv.) og sporeproduktion er analyseret og diskuteret i afsnit 3.8-3.9.

3.2.2 Produktion og levedygtighed af sporangier i forskellige bladniveauer

I 2005 blev det undersøgt, om der var forskel i produktion og infektionsevne af sporangier produceret i toppen og bunden af kartoffelafgrøden. Undersøgelserne blev udført i Bintje i begyndelsen af juli 2005 ved starten af skimmel epidemien. Der blev allerede ved de første små symptomer konstateret sporangier i læsionerne og en stor produktion over nogle dage omkring 7. juli (figur 18) sammenfaldende med regnfuldt vejr med lave vindhastigheder den 5. og 6. juli (figur 19). Det var forventet, at der var en større produktion nede i afgrøden, men der kunne ikke konstateres signifikant forskel i antal infektionsdygtige sporangier på bladet udtaget i top og bund af afgrøden (figur 18).



Figur 18. Antal infektionsdygtige sporangier pr. arealenhed af læsion i sorten Bintje. Gennemsnit af 5 blade fra henholdsvis top og bund af afgrøden. Der er ingen signifikant forskel mellem top og bund.



Figur 19. Vejrdata fra Flakkebjerg den 1.-8. juli, 2005. Øverst: Temperatur (rød kurve nederst), nedbør (søjler) og RH (blå kurve øverst). Nederst: Vindhastighed (rød, fed kurve) og globalstråling (grøn, tynd linie).

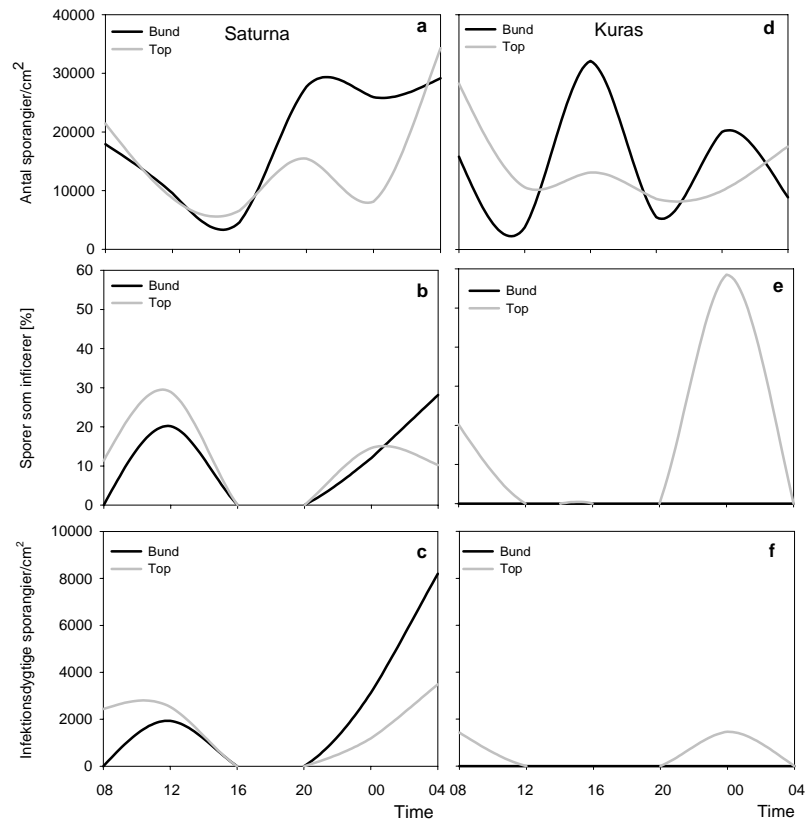
Der er risiko for sporangiedannelse HSPO den 5., 6. og 7. juli, fordi der er lange perioder med høj luftfugtighed og samtidig temperaturer over 10°C.

Der kunne heller ikke konstateres signifikante forskelle i infektionsevnen af sporangier indsamlet fra henholdsvis top og bund af afgrøden. Generelt inficerede op til 6% af sporangierne med en enkelt top (14% infektionsevne) den 6/7 (data ikke vist). Der var en signifikant effekt af datoens indflydelse på antallet af sporangier, men ingen vekselvirkning mellem dato og bladniveau (top/bund).

Da der ikke kunne konstateres signifikante forskelle i sporeproduktion mellem de forskellige bladniveauer, blev der i projektets andet forsøgsår 2006 kun analyseret for sporeproduktion i et bladniveau (nederste).

3.2.3 Døgnvariation i sporeproduktion

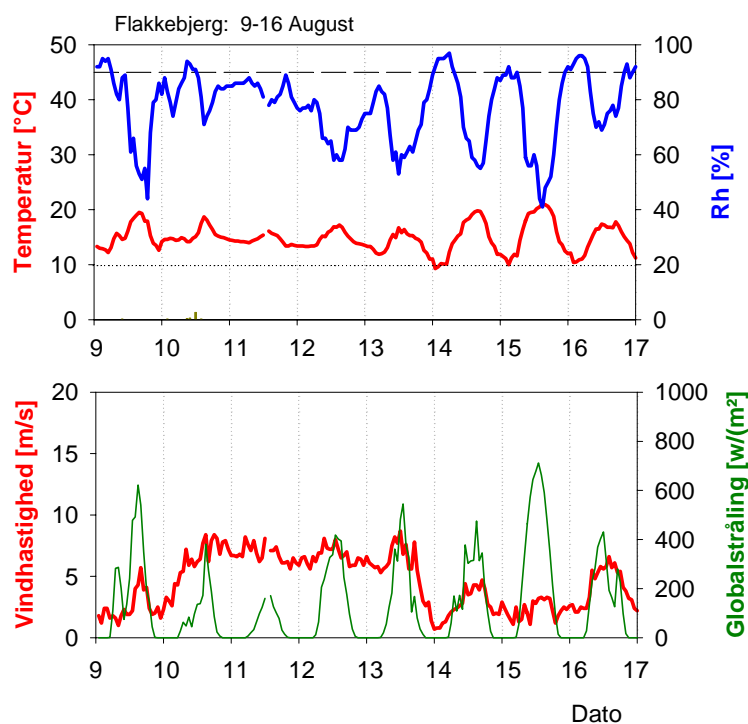
Undersøgelser vedrørende døgnvariation i sporeproduktion blev udført 2005 på to udvalgte døgn, 28.-29. juli i sorten Saturna og 11.-12. august i sorten Kuras. Der blev udtaget blade til analyse hver 4. time. Resultaterne fremgår af figur 20.



Figur 20. Døgnvariation i sporeproduktion, målt hver 4. time i sorten Saturna den 28.-29. juli (a) og i Kuras den 11.-12. august (d). Døgnvariation i infektionsevne, målt hver 4. time i sorten Saturna den 28.-29. juli (b) og i Kuras den 11.-12. august (e). Døgnvariation i antal infektionsdygtige sporangier fra henholdsvis top og bund af Saturna den 26.-27. juli (c) og i Kuras den 11.-12. august (f).

Den største mængde af sporangier blev registreret i Saturna om aftenen og natten (figur 20). Nattertemperaturen mellem den 28. og 29. juli var ikke under 14,6°C. Dette er optimum for sporangiedannelse. Den 29. juli var en typisk sommerdag med maksimum temperatur på ca. 24°C og minimum RH på ca. 60% midt på dagen og 96% om natten. Dette er gode betingelser for frigørelse af sporangier. Dermed kan faldet i mængden af sporangier i læsionerne forklares. Perioden 11.-12. august var overskyet med minimum RH på ca. 75% den 12. august. Natten mellem den 11. og 12. august var meget ufavorabel for sporangiedannelse, fordi RH ikke kom over 80% (figur 21). Under sådanne forhold forventes en meget langsom sporangiedannelse.

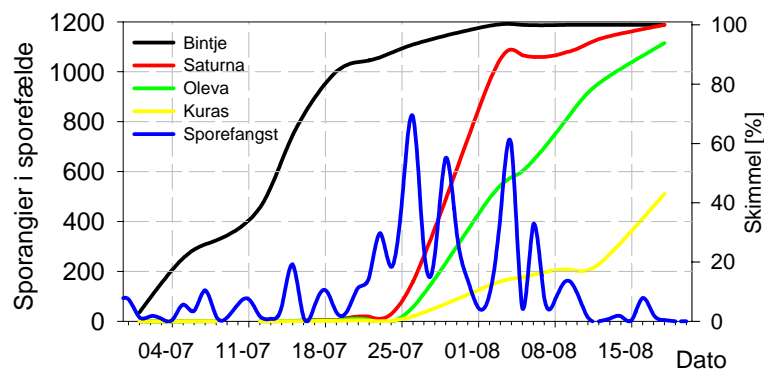
Variationen over døgnet med hensyn til infektionsevne (figur 20b og 20e) og i det **faktiske antal** infektionsdygtige sporangier i de to bladniveauer (figur 20c og 20f) viser, at infektionsevnen og det **faktiske antal** infektionsdygtige er lavest mellem kl. ca. 12 og 20. Det er uvist, om sporangierne mister deres infektionsevne **midlertidigt** under udtørring i løbet af dagen, eller om de faktisk mister den, og at stigningen om natten er betinget af nydannede sporangier.



Figur 21. Vejrdata fra Flakkebjerg den 9.-16. august, 2005. Øverst: Temperatur (rød kurve nederst), nedbør (søjler) og RH (Blå kurve øverst). Nederst: Vindhastighed (rød, fed kurve) og globalstråling (grøn, tynd kurve).

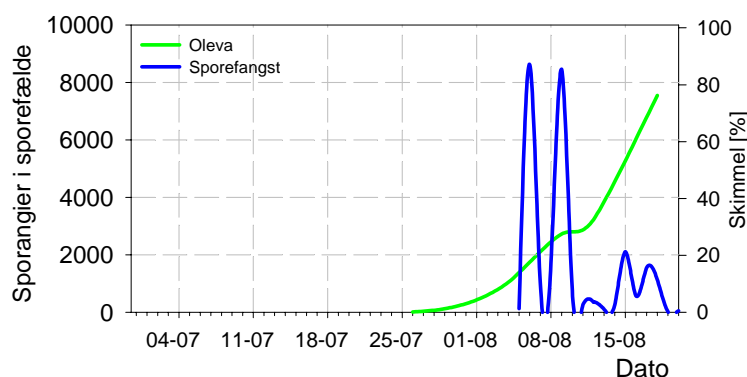
3.3 Spredning af sporangier 2005

I 2005, fra den 29. juni til den 20. august, blev der registreret sporangier hver dag undtagen den 12. 19. og 20. august i feltet med 4 kartoffelsorter (figur 22). Indtil ca. den 20. juli var det læsioner fra Bintje planterne, som bidrog til sporangiefangsterne. Fra den 21. juli til den 10. august var der en voldsom skimmeludvikling i Saturna og Oleva – i mindre grad i Kuras (figur 22). I denne periode var der tre markante maksima i sporangiefangsterne, den 26. juli, 29. juli og den 4. august. Efter den 4. august var sporangieproduktionen aftagende, fordi kun Kuras og i mindre grad Oleva havde aktive læsioner. Afgrøden var også blevet åben på grund af de døde rækker med Bintje og Saturna. Dette skabte et luftigt og mindre gunstigt mikroklima for sporangiedannelse.



Figur 22. Sygdomsudvikling i sortsblanding af Bintje, Saturna, Oleva og Kuras i felt, hvor sorterne er blandet. Antal let af sporangier pr. m³ pr. dag fanget i sporefælde opsat i sortsblandingen. 2005.

En Burkard fælde blev opsat i Oleva i ren bestand den 5. august. Sygdomsudviklingen i dette felt var lidt senere end i Oleva i sortsblandingen (figur 22 og figur 23). Der var markante sporangiefangster den 6. og den 9. august (figur 23 og figur 24).



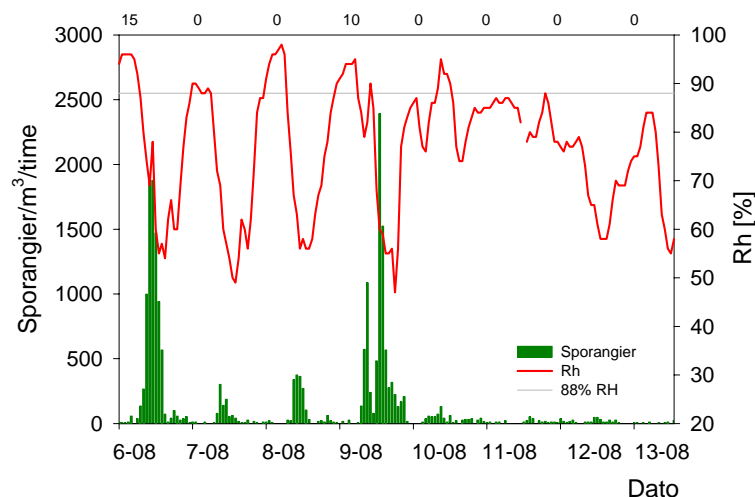
Figur 23. Sygdomsudvikling i Oleva renbestand, 2005 samt antal let af sporangier pr. m³ pr. dag fanget i Burkard sporefælde opsat i feltet.

Betragtes timedata viser resultaterne, at der blev fanget mange sporangier i morgen og formiddagstimerne efter nætter, hvor der havde været længerevarende fugtige perioder. Efter en stor sporangieproduktion blev der fanget en betydelig mængde sporangier de efterfølgende dage, f.eks. sporangier fanget den 7. og 8. august (figur 24). Efter flere dage med ugunstigt vejr for sporangiedannelse (10.-13. august) blev der stadig fanget en mindre mængde sporangier i fælden. Et væsentligt spørgsmål er, om disse sporangier er infektionsdygtige. Dette blev ikke undersøgt i 2005, men spørgsmålet diskuteres med data fra 2006 (se afsnit 3.4).

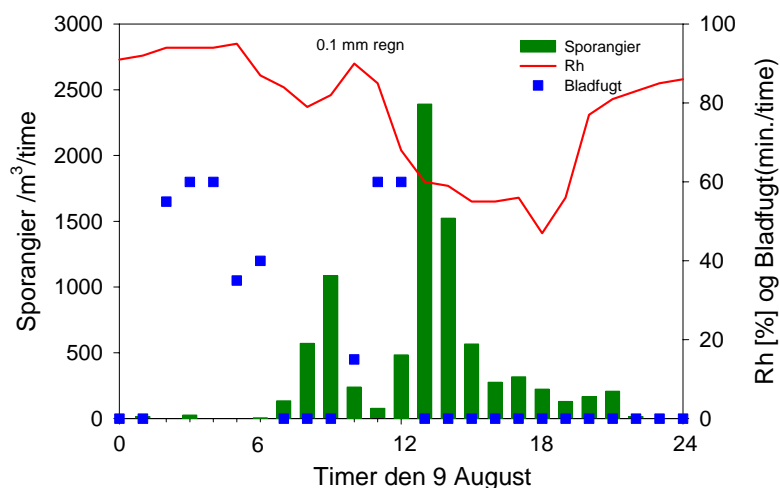
Den 9. august ses to toppe kort tid efter hinanden. For at forstå hvilke mekanismer, som betinger dette spredningsmønster kan man zoome ind på netop denne dag (figur 25).

Den 9. august var der var 5 timer med (ikke fuld) overfladefugt om natten (figur 25). Der blev registreret 10 timer med risiko for sporangiedannelse, jfr. figur 24 (kun RH og temperatur indgår i denne beregning). En stor mængde sporangier blev frigivet over 2 omgange afbrudt af 0,1 mm nedbør. Sporangierne skal lande i frit vand for at kunne frigive sine sværnesporer (zoosporer, jf. afsnit 1.2), som derefter svømmer og spirer på bladet. Fordi nye sporangier spredes kort tid efter eller lige før regn, ville der være en stor chance for infektion allerede ved middagstid denne dag. Sporangier blev frigivet over flere timer aftagende fra maksimumfangst kl. 13.00 ved RH på 60-70%.

Analyserne af data (afsnit 3.8) inklusive eksemplerne i figur 24 og 25 tyder på, at det måske netop er de dage, hvor der er rigtig meget bladfugt, at der sker infektioner om morgenen, hvor der er overlap mellem frigivelse af sporangier og stadig dug på planterne.



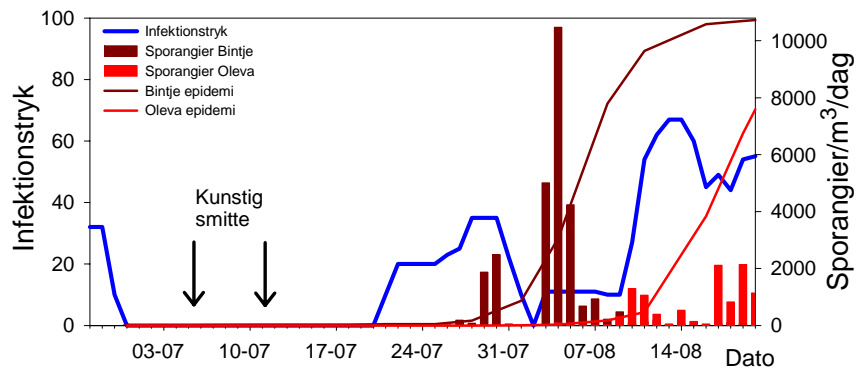
Figur 24. Sporangiefangster /m³/time i Oleva felt, 2005 sammenholdt med luftfugtigheden, Rh (Rød kurve). Reference-linien på 88% er angivet som grænsen for timer, som medregnes til beregning af risiko for sporulering (HSPOR risikotimer). Antal let af risikotimer for sporulering er angivet over figuren for de enkelte dage.



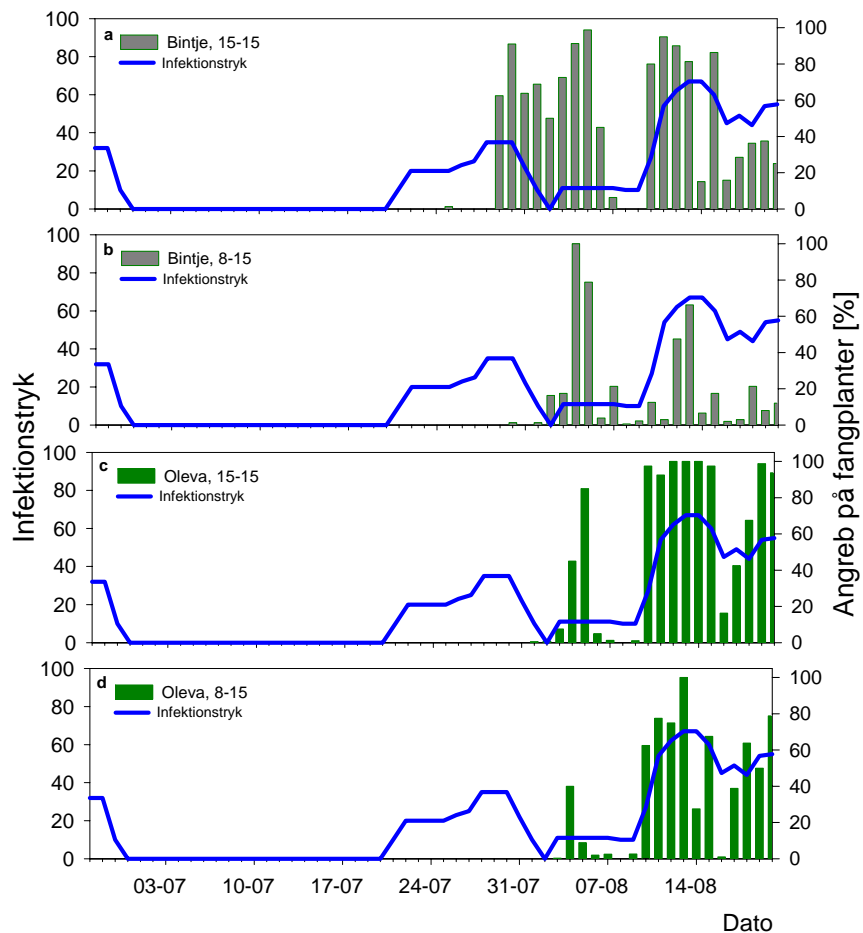
Figur 25. Sporangiefangster /m³/time den 9. august i Oleva felt, 2005 sammenholdt med luftfugtigheden (Rh) og bladfugt, jf. figur 24. Fra kl. 10-11 faldt der 0,1 mm regn. Der var 10 HSPOR risikotimer natten mellem den 8. og 9. august. Grønne søjler er sporangiefangster. Blå kvadrater er bladfugt (0-60 minutter/time), og rød linie er relativ luftfugtighed pr. time. Kl. ca. 10.00 faldt der 0,1 mm regn.

3.4 Spredning af sporangier, overlevelse og infektion i 2006

I 2006 blev der indsamlet sporangier med Burkard sporefælde i Bintje og Oleva i perioden 14. juni til 29. august 2006, og der blev udsat fangplanter hver dag i begge sorter i perioden 27. juni til 20. august (se afsnit 2.6). De første læsioner blev registreret i Bintje den 3. juli og tilsvarende i Oleva den 1. august. Den epidemiske udvikling startede i Bintje i sidste uge af juli og tilsvarende i Oleva ca. 10 dage senere (figur 26). Der blev kunstigt smittet både i juni og igen både 5. og 11. juli, men dette var altså ikke tilstrækkeligt til at starte en epidemi. Første angreb på fangplanter udsat i Bintje blev observeret den 25. juli og i Oleva den 1. august (figur 27).



Figur 26. Infektionstryk, blå kurve (forklares i tekst), epidemisk udvikling af kartoffelskimmel i Bintje og Oleva (% skimmel) og fangst af luftbårne sporangier /m³/time i Bintje (bordeauxrøde søjler) og Oleva (røde søjler), 2006. Infektionstryk er beregnet med vejrdata fra GRID 1585 (Flakkebjerg).



Figur 27. Infektionstryk og angreb på fangplanter (% skimmel). a) Bintje-planter sat ud dagen før kl. 15 og hjemtaget kl. 15 på dagen. b) Bintje-planter sat ud samme dags morgen kl. 8 og hjemtaget kl. 15 på dagen. Planterne blev duschet med vand i marken inden inkubation. c) Oleva-planter sat ud dagen før kl. 15 og hjemtaget kl. 15 på dagen og d) Oleva-planter sat ud samme dags morgen kl. 8 og hjemtaget kl. 15 på dagen. Planterne blev duschet med vand i marken (jævnfør afsnit 2.6). 2006. Infektionstryk er beregnet med vejr data fra GRID 1585 (Flakkebjerg).

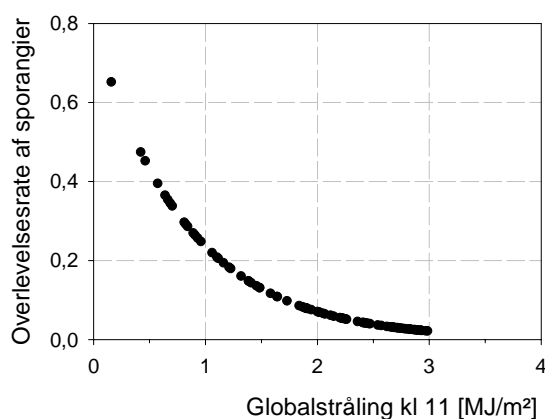
I figur 26 er vist sporangiefangster (Burkard sporefælden) sammenholdt med infektionstryk beregnet med HSPO glidende sum (5 dage) og med anvendelse af GRID data og RH tærskel 88% (jf. afsnit 2.8). Det var varmt og tørt det meste af juli måned (jævnfør afsnit 3.1). Infektionstrykket var lavt, der blev ikke fanget sporangier, og der skete ingen infektion på fangplanter overhovedet (figur 27). I slutningen af juli skiftede vejret markant til mere

fugtigt, men stadig varmt (figur A2, Appendiks A). Den 23. og 24. juli og igen den 28., 29. og 30. juli var der risiko for sporangiedannelse. Den daglige risiko for sporangiedannelse er angivet i Appendiks D. I figur 26 og 27 er risikoen vist som en glidende sum på i alt 5 dage (daglige tal for HSPO for dags dato, to dage tilbage og to dage frem). Det stigende infektionstryk i sidste uge af juli er sammenfaldende med, at der for første gang fanges en større mængde sporangier i Bintje (62 sporangier den 24. juli, kan ikke ses i figur 26, da akseinddelingen er 2000 sporangier/m³). Der fanges mange sporangier i Bintje den 29. og 30. juli og den 3.-5. august. Der fanges mange sporangier i Oleva den 10.-11. august og igen den 17.-20. august.

Fra den 29. juli skete der infektioner på Bintje fangplanterne udsat fra 15-15 næsten hver dag – undtagen den 8.-9. august (figur 27a). Der var generelt færre dage og lavere infektion på fangplanterne udsat fra 8-15 (figur 27b). For Oleva fangplanterne skete de første angreb lidt senere end i Bintje feltet. Der var angreb på fangplanterne hver dag undtagen den 8. august (figur 27c), men der var stor variation i angrebsgraden, og der var generelt mindre angreb på planterne udsat kl. 8-15 (figur 27d).

3.5 Overlevelse af sporangier og globalstråling

Overlevelsen af sporangier, som kommer op i luften, er meget følsom overfor UV stråling og udtørring (Mizibuti *et al.*, 2000). På basis af data for global stråling kan man beregne den daglige overlevelsesrate fra den 14. juni til den 12. september (figur 28), jf. metodeafsnit 2.9. Hvis overlevelsesraten f.eks. er 0,5 betyder det, at kun halvt så mange (50%) af de eksponerede sporangier kan spire sammenlignet med tilsvarende mængde sporangier, som ikke har været eksponeret for sollys.



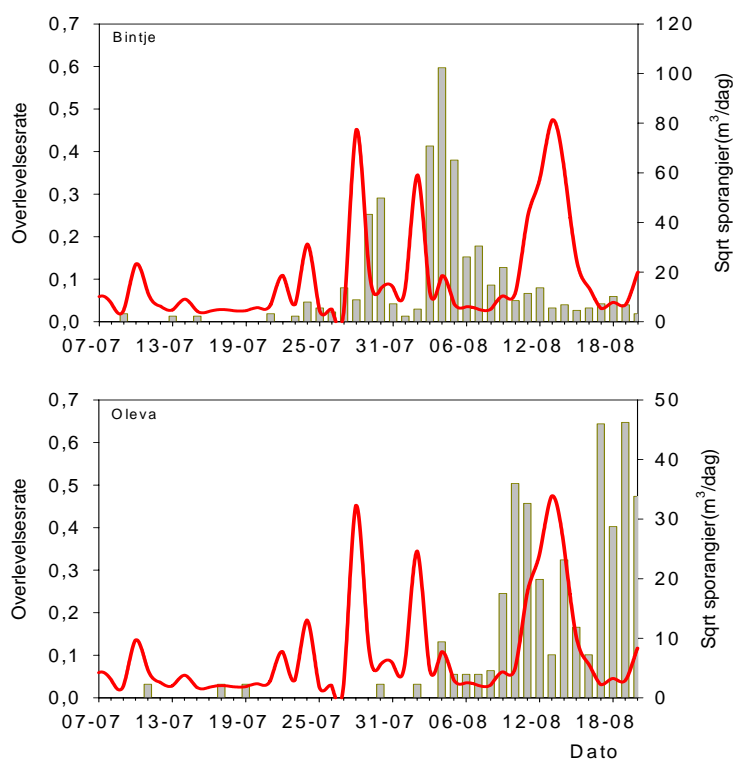
Figur 28. Sammenhængen mellem globalstråling og overlevelsesraten er bestemt af formlen: $Y = 0,79 \exp(-1,21 \cdot \text{stråling})$, hvor stråling er globalstråling i MJ/m² mellem kl. 11 og 12. Der er brugt data fra Flakkebjerg, DMI klimastation 2006, 14. juni til 12. september.

For den undersøgte periode varierede globalstrålingen mellem 3 og ca. 0,2 MJ/m² (figur 28). Gennemsnit for perioden er 1,9 MJ/m². Den gennemsnitlige overlevelsesrate var 11,6%, (variation fra 2-65%). Hvis temperaturen kl. 11 om formiddagen (kl. 12 dansk sommertid) var større end 22°C, var overlevelsesraten under 10%. I temperaturintervallet 14-22°C var overlevelsesraten ikke korreleret med temperaturen. Hvis luftfugtigheden var lavere end 60-70% kl. 11, var overlevelsesraten af de sporangier, som bliver

spredt op i luften, mindre end 10%. Fra 70 til 100% luftfugtighed synes overlevelsesraten at være positivt korreleret med luftfugtigheden. Jo højere luftfugtighed, jo højere overlevelse. Med basis i denne metode kan man konkludere, at sporangier, som frigøres og bliver luftbårne, har meget ringe chance for at overleve, hvis temperaturen ved middagstid er større end 22°C, og/eller hvis luftfugtigheden på samme tid er lavere end 60-70%.

Man kan summere strålingsdata for den ene time eller over 3 timer, som anvist af Mizubuti *et al.* (2000) (Model 1 og 2 i metodeafsnit 2.9). Resultater for overlevelsesparametre af begge modeller er vist i Appendiks D. I det efterfølgende anvendes model 1.

I juli måned var overlevelsesraten generelt meget lav (figur 29). Der er fire perioder med relativt høj overlevelsesrate, den 24. juli, 28.-29. juli, 2. august og 11.-15. august. Sammenholdes overlevelsesraten med sporangiefangster ved Flakkebjerg i 2006 (figur 29) ses, at der er stor chance for overlevelse på dage med få sporangiefangster og stor risiko for ikke at overleve på dage med stor sporangiefangst.



Figur 29. Sporangiefangster (søjler) sammenholdt med beregnet overlevelsesrate (kurve) for sporefangster i henholdsvis Bintje (øverste figur) og i Oleva (nederste figur). Se tekst til afsnit 2.9 for forklaring til beregnet overlevelsesrate. Flakkebjerg, 2006.

I forbindelse med perioder for høj overlevelsesrate - den 24. juli, 28.-29. juli, 2. august og 11.-15. august - blev der registreret en relativ stor infektionsevne af sporangier i læsionerne og samtidig en øget mængde sporangier i læsionerne over de efterfølgende 2-3 dage.

3.6 Infektion på fangplanter

Sammenholdes peaks i overlevelsrate og angreb på fangplanter ses også ofte markante angreb på dagen eller de efterfølgende dage. På dage med meget lav overlevelsrate i juli måned skete der ikke en eneste dag infektion på fangplanterne vel vidende, at der var aktive læsioner i feltet (se senere). Det er væsentligt at vide, hvornår der er risiko for infektion, men måske endnu mere interessant, at kunne udpege perioder, hvor der **ingen** risiko er for infektion!

Hvis der er meget dugdannelse om natten, kan der ske infektioner om morgenen på fangplanterne, som har stået i feltet fra kl. 15 dagen før, da disse planter er våde fra naturlig dugdannelse, når sporangierne spredes. Fangplanterne udsat kl. 8 om morgenen er tørre, og i mange situationer skal sporangierne overleve op til 7 timer, inden de bliver udsat for frit vand, når de dusches inden hjemtagning og inkubation.

I Appendiks I er der vist figurer dag for dag for at anskueliggøre disse sammenhænge. Figurene er lavet nøjagtigt, som beskrevet for figur 30. Nedenfor diskuteres eksempler fra enkelte dage samt en sammenfatning af resultaterne i Appendiks I.

Forholdene den 27.-30. juli 2006 startede sandsynligvis epidemien i Bintje feltet (figur 30). Der faldt 7-8 mm nedbør om aftenen den 23. juli, og det regnede lidt det meste af formiddagen den 28. juli. Det bevirkede en lang periode med $RH > 88\%$. HSPO med GRID data blev målt til 14 og HSPO med data fra METOS til 15 timer. Der blev totalt set den 28. juli fanget 78 sporangier i fælden, men ingen gav anledning til infektion på fangplanterne (figur 30). Natten 28./29. juli var igen favorabel for sporangiedannelse. Til forskel fra dagen før gav et brat fald i luftfugtigheden anledning til frigørelse af en stor mængde sporangier. En del af disse inficerede 15-15 planterne, men fordi 8-15 planterne var udsat tørre, skete der ingen infektion på dem på dette tidspunkt og heller ikke ved oversprøjtning med vand ved hjemtagning (figur 31). Den efterfølgende morgen er overlappet mellem bladfugt fra nattens dug og sporangiefrigørelse meget tydelig. Der skete også en høj grad af infektion på 15-15 fangplanterne (figur 32).

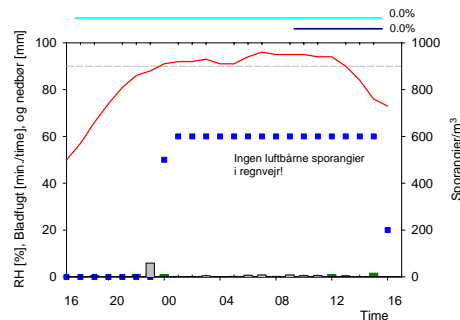
Den 2.-4. august blev der fanget mange sporangier i Oleva-feltet, og her skete også infektioner på 8-15 fangplanter (figur 33-34). Det skyldtes dels, at sporangiefrigørelsen fortsatte til langt hen på eftermiddagen (3. august), og dels fordi sporangiefrigørelsen den 4. august var kombineret med efterfølgende regn kl. 12-14. Perioden den 2.-3. august er et eksempel på, at der blev beregnet risiko for sporangiedannelse med anvendelse af data fra Metos, men ikke med arealinterpolerede GRID data.

Betragtes perioden fra start af sporangiefangst i Bintje og ca. 20 dage frem (21. juli til 9. august) og tilsvarende i Oleva (30. juli til 20. august) kan man uddrage nogle generelle betragtninger (figurer vist i Appendiks I).

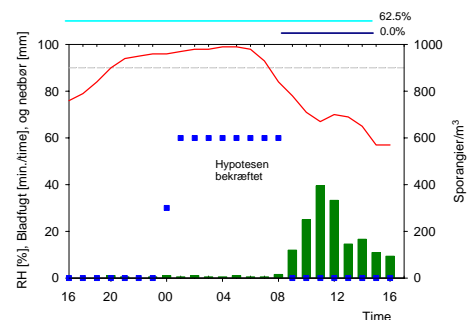
- Der er generelt overensstemmelse mellem beregning af sporulering og angreb på fangplanterne. Infektionerne sker dagen efter en nat med risiko for sporangiedannelse f.eks. 29.-30. juli i Bintje (figur 32) og 9.-11. august i Oleva (figur I4, Appendiks I). Der er også dage, hvor der er risiko for sporangiedannelse uden angreb, enten fordi læsionerne endnu er helt unge og kun producerer en mindre mængde sporangier, f.eks. 23.-24. juli (figur I1, Appendiks I), eller fordi sporangierne ikke frigøres om morgenen på grund af regn eller overskyet vejr. Sporangierne bliver sandsynligvis

siddende i læsionerne, og de frigøres først næste gang, forholdene er gunstige for frigivelse (brat fald i luftfugtigheden), f.eks. 27.-29. juli.

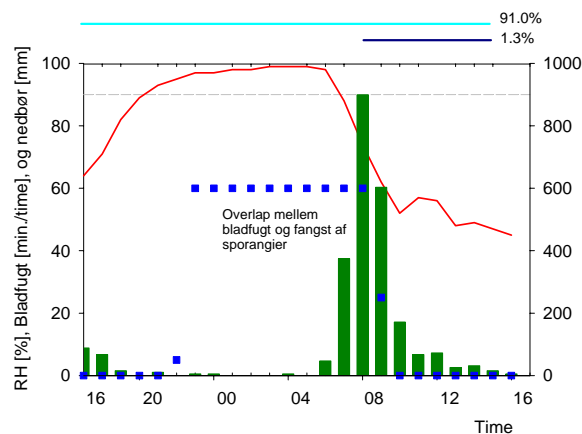
- For Bintje kom der i 4 ud af 20 dage angreb på 15-15 planterne men ikke på 8-15 planterne. Dette er sandsynligvis dage, hvor infektionen er sket om morgenen på 15-15 planterne ved overlap mellem tilbageværende dug og sporangiefrigørelse. De frigjorte sporangier har ikke kunnet overleve indtil en mulig infektion kl. 15 om eftermiddagen, hvor 8-15 planterne er blevet duschet lige inden inkubation. Se f.eks. 29. juli til 1. august i Bintje og 3. august, 6. august og 17. august i Oleva (Appendiks I).
- Der er dage, hvor der kommer angreb på fangplanterne uden, at der er beregnet risiko for sporangiedannelse, og uden at der registreres sporangier i fælden, f.eks. 1. august.
- I Appendiks I er risiko for sporulering blev beregnet med GRID data og Metos vejrstation for hver dag. I begge tilfælde med RH tærskel på 88%. Begge metoder "alarmerer om skimmelvejr" korrekt, før epidemierne starter, 23.-24. juli og 28.-30. juli. Kun Metos beregner risiko, som kan relateres til en voldsom øget fangst af sporangier fra den 1. til 4. august.



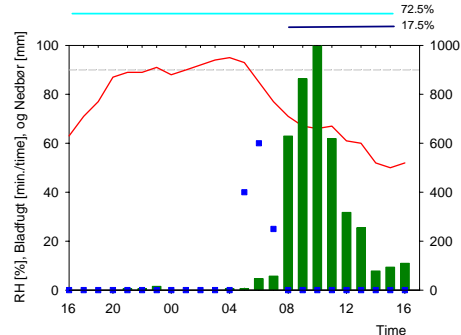
Figur 30. 27. Juli 16:00 til 28. Juli 16:00
HSPO (GRID)=14. HSPO (Metos)=15.
figurforklaring, se under figur 32.



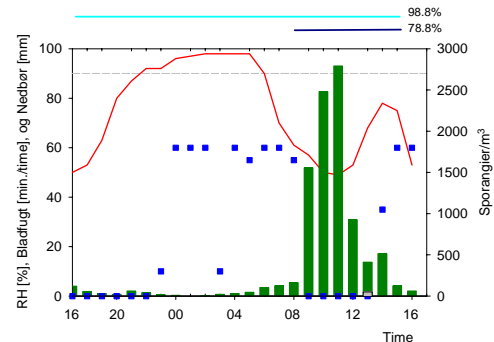
Figur 31. 28. Juli 16:00 til 29. Juli 16:00
HSPO (GRID)=13. HSPO (Metos)=12.
figurforklaring, se under figur 32.



Figur 32. 29. Juli 16:00 til 30. Juli 16:00, Bintje HSPO (GRID)=11. HSPO (Metos)=12.
Eksempel på anvendelse af 15-15 og 8-15 fangplanter. X-akse: tiden i timer (her 29. juli kl. 16:00 til 30. juli 16:00). Oven over figuren indikerer to linier, hvornår henholdsvis 15-15 fangplanterne og 8-15 fangplanterne har været eksponeret i relation til de meteorologiske forhold og sporangiefangster, som vises i figuren. Efter linierne for eksponering er angivet procent infektion på fangplanterne efter inkubation i vækstrum. Graden af infektion kan nu sammenholdes med timeværdier for RH [%] (rød linie), Bladfugt [min./time] (blå kvadrater), nedbør [mm/time] (grå søjler) og sporangiefangster [antal sporangier/m³/time] (grønne søjler) over det seneste døgn. (Metoden vedrørende fangplanter er beskrevet i afsnit 2.6).



Figur 33. 2. August 16:00 til 3. August 16:00. HSPO (GRID)=0. HSPO (METOS)=10. Se under figur 32.



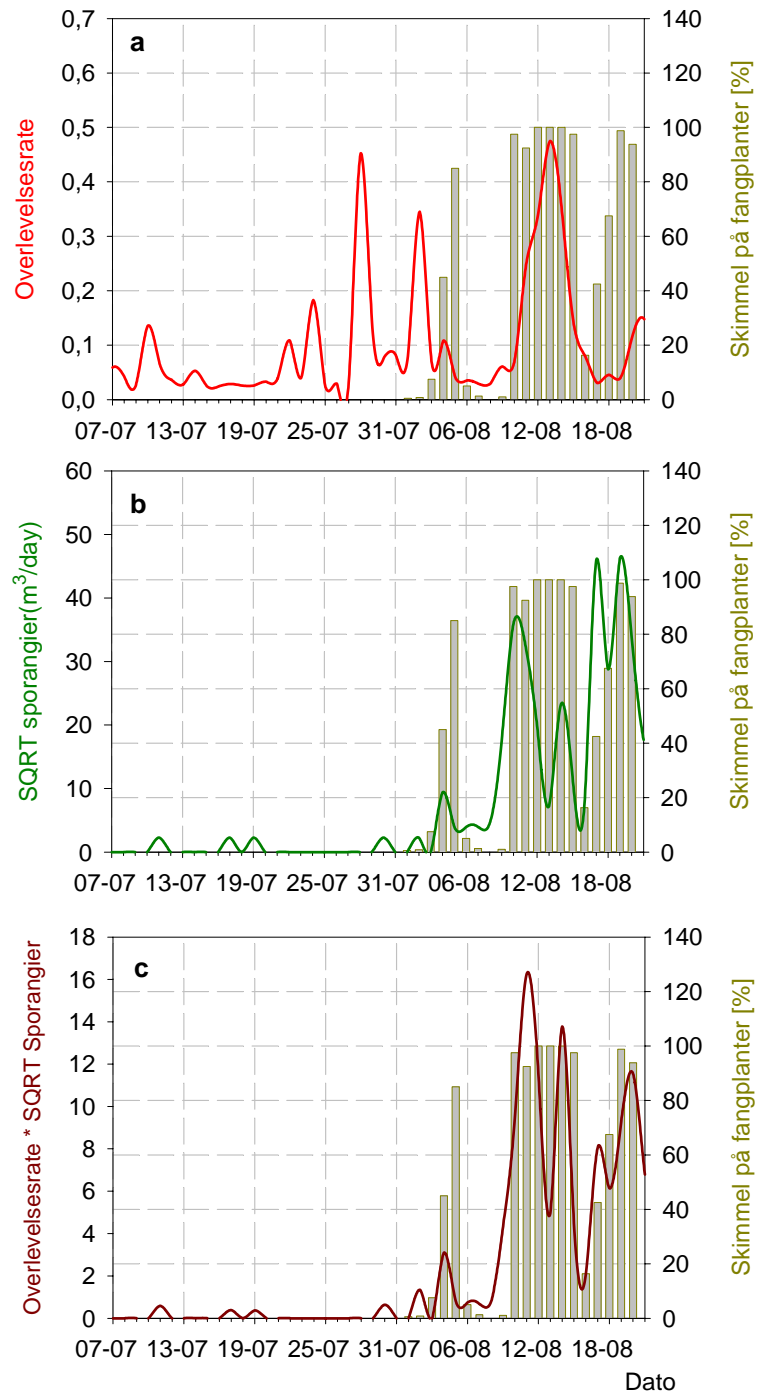
Figur 34. 3. August 16:00 til 4. August 16:00. HSPO (GRID)=0. HSPO (METOS)=10. Se under figur 32.

3.7 Infektionstryk justeret for UV stråling

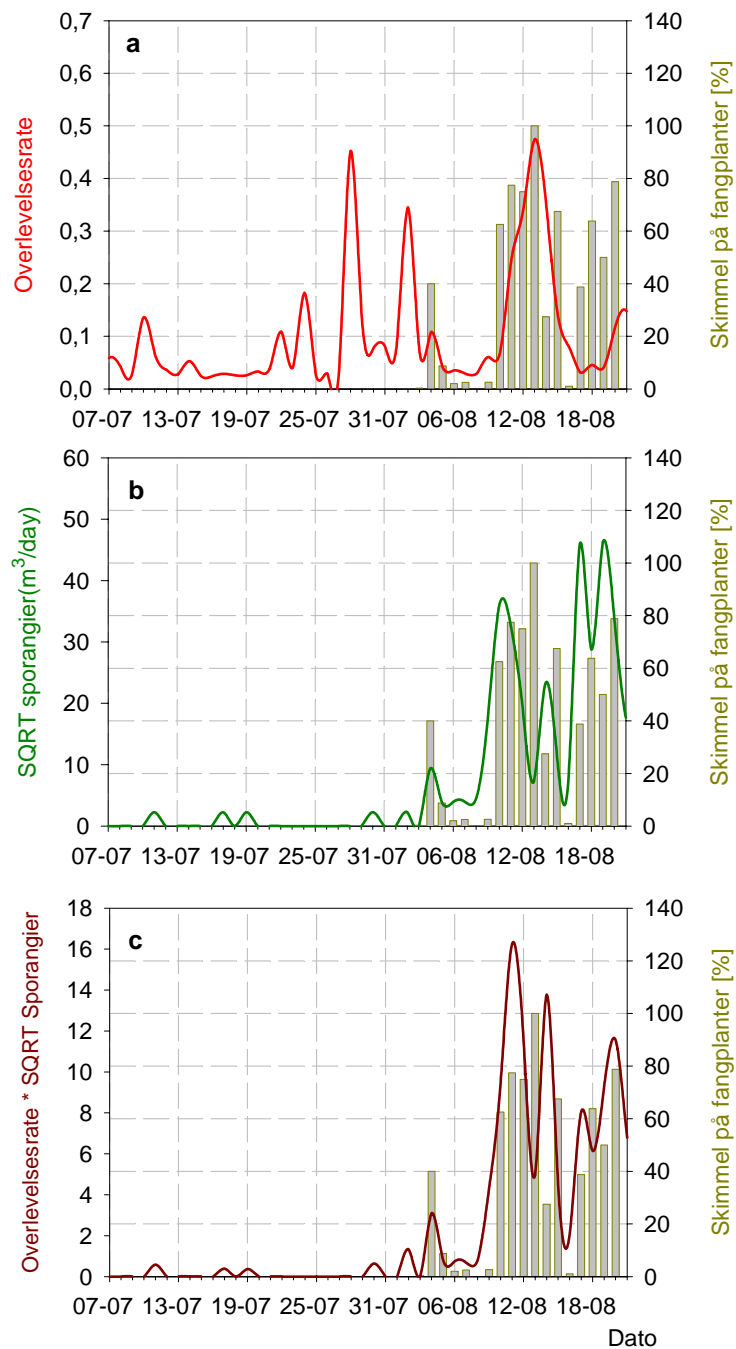
Hvis man multiplicerer de daglige sporangiefangster med overlevelsesraten, giver dette et groft mål for antal levedygtige sporangier, som måske kan overleve mere end nogle få timer, og som derfor stadig er levedygtige, når 8-15 planter dusches og hjemtages (jævnfør metodeafsnit 2.9). Der er en god sammenhæng mellem denne parameter og infektion på fangplanter 8-15 for både Bintje og Oleva. Sammenhængen er vist for Oleva i figur 35-36. Den høje overlevelsesrate den 28. juli giver ingen infektioner på Bintje fangplanterne, men det skyldes udbredt regn det meste af dagen. Dermed sker der ingen sporangiespredning op i luften (figur 29). Der er risiko for spredning med regnplask til naboplanter, men fangplanterne er omkranset af planter af den meget resistente sort Sarpo Mira.

Overlevelsesrate * sporangier ser ud til at være en god indikator for risikoen for infektioner. Overlevelsesraten kan beregnes alene med data for globalstråling (inklusive vejrprognose for globalstråling), men data for sporangiefangster er ikke tilgængelige for operationel beslutningsstøtte. Derfor kan man overveje, om man kan bruge HSPO som mål for sporangiedannelsen i stedet for. HSPO kan beregnes operationelt inklusive som prognose 2-5 dage ud i fremtiden. Infektionstryk og overlevelsesrate er beregnet som en glidende sum over tre dage, multipliceret og sammenholdt med infektion på fangplanterne (figur 37). Resultaterne viser, at der er lokale peaks på samme tidspunkt, som ved inddragelse af de faktiske sporangietal, men peak den 2.-3. august er betydeligt lavere, hvis infektionstrykket anvendes (figur 37).

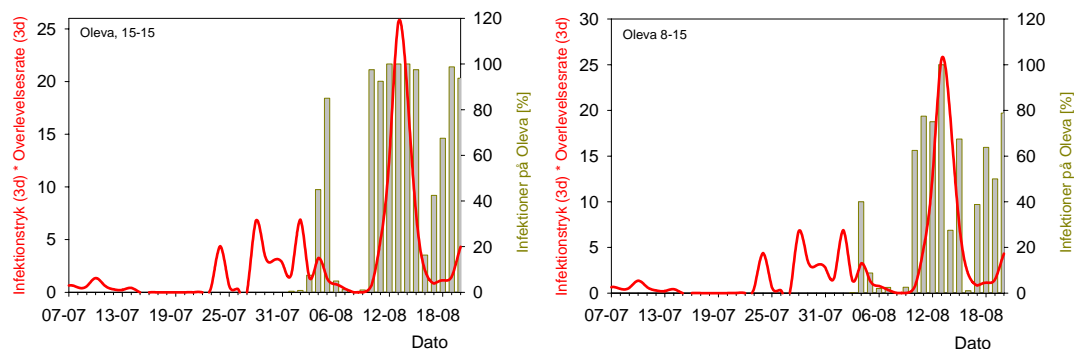
Til beregning af HSPO er anvendt data fra Flakkebjerg klimastationen, og resultaterne er stort set identisk med arealbaseret interpolation, Grid data for Flakkebjerg. Hvis man derimod anvender data fra Metos og inddrager bladflugt og nedbør sammen med RH som fugtighedsvariable opnås risiko for infektion netop 2., 3. og 4. august – de tre dage, hvor HSPO er nul ved anvendelse af data fra DMI og kun RH. Simulering med LB2004 (beskrevet i afsnit 2.15) viser også risiko for sporangiedannelse 2.-4. august, hvilket samlet set indikerer, at anvendelse af RH alene ikke altid opfanger skimmelfavorable perioder.



Figur 35. Oleva, 2006. 15-15 planter. (a): Overlevelsesrate sammenholdt med angreb på fangplanter (% skimmel) udsat dagen før og hjemtaget kl. 15 på dagen i Oleva. (b): kvadratroden til antallet af sporangier fanget med Burkardfælde sammenholdt med angreb på fangplanter (% skimmel) udsat dagen før og hjemtaget kl. 15 på dagen i Oleva fel tet. (c) *Overlevelsesrate* * sporangier sammenholdt med angreb på fangplanter (% skimmel) udsat dagen før og hjemtaget kl. 15 på dagen i Oleva. Fangplanter er beskrevet i afsnit 2.6. Overlevelsesrater er beskrevet i afsnit 2.9.



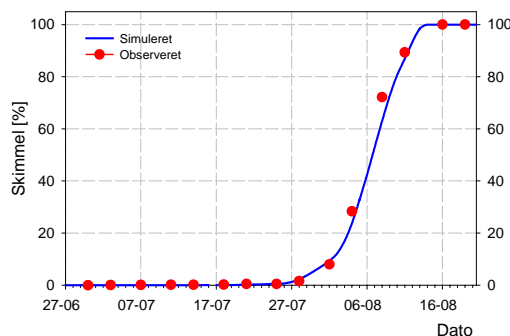
Figur 36. Oleva, 8-15 planter. (a): Overlevelsesrate sammenholdt med angreb på fangplanter (% skimmel) udsat kl. 8 samme morgen og hjemtaget kl. 15 på dagen i Oleva. (b): kvadratroden til antallet af sporangier fanget med Burkardfælde sammenholdt med angreb på fangplanter (% skimmel) udsat kl. 8 om morgenen og hjemtaget kl. 15 på dagen i Oleva feltet. (c) *Overlevelsesrate* * sporangier sammenholdt med angreb på fangplanter (% skimmel) udsat kl. 8 om morgenen og hjemtaget kl. 15 på dagen i Oleva. Fangplanter er beskrevet i afsnit 2.6. Overlevelsesrater er beskrevet i afsnit 2.9.



Figur 37. *Infektionstryk (HSPO) * Overlevelsesrate* sammenholdt med angreb på fangplanter (% skimmel) udsat dagen før og hjemtaget kl. 15 på dagen i Oleva og på planter udsat samme dag kl. 8 og hjemtaget kl. 15 samme dag i Oleva. Planterne udsat 8-15 blev duschet med vand i marken lige inden inkubation. 2006 (se metodeafsnit 2.6).

3.8 Simulering af epidemiforløb med LB2004

Simuleringsmodellen LB2004 er omtalt i afsnit 2.15, og modellen kan anvendes på danske data. Med de samme parametre for latensperiode, læsionshastighed, sporuleringsrate og infektionseffektivitet kan modellen simulere epidemiforløbet i Bintje i både 2005 (ikke vist) og i 2006 (figur 38).



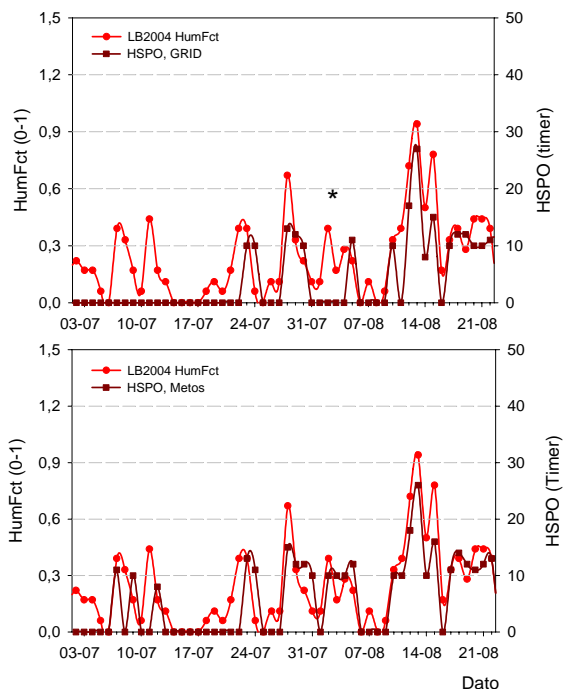
Figur 38. Simuleret og observeret epidemiforløb i Bintje ved Forskningscenter Flakkebjerg i 2006. Som vejrdata er anvendt timedata fra DMI stationen ved Flakkebjerg. Simuleringsmodellen LB2004 er omtalt i afsnit 2.15.

I perioden den 2.-5. august skete der betydelige infektioner på fangplanter, uden at der var en beregnet risiko baseret på HSPO (figur I2-I3, Appendiks I). Beregninger med LB2004 kan sammenlignes med HSPO for at sandsynliggøre, om der faktisk har været en vejrbebetiget risiko for sporangieproduktion, spredning og infektion i den periode.

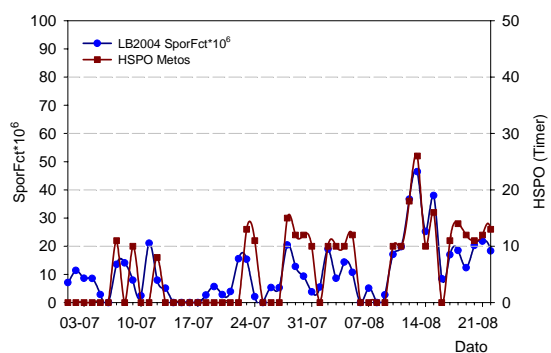
Der er i markante sporuleringsperioder i august god overensstemmelse mellem LB2004 og beregning af HSPO med anvendelse af både grid data og Metos inklusive bladfugt. Dog giver beregning med HSPO grid data ingen risiko i netop perioden 2.-5. august. Dette indikerer, at beregning af skimmelvejrrisiko med HSPO og infektionstryk, som glidende sum, kan forbedres ved enten at sænke tærsklen for RH eller ved at inddrage bladfugt og nedbør som variabel for fugtighed.

Der er en god sammenhæng mellem HSPO beregninger med Metos vejrdata og LB2004 beregninger af sporangieproduktion (figur 40). Der er en god sammenhæng mellem LB2004 beregninger af antallet af nye infektioner og infektion på fangplanter (figur 41). Der sker infektion på Bintje fangplanter efter den 16. august uden, at LB2004 beregnede nogen nye infektioner. Det

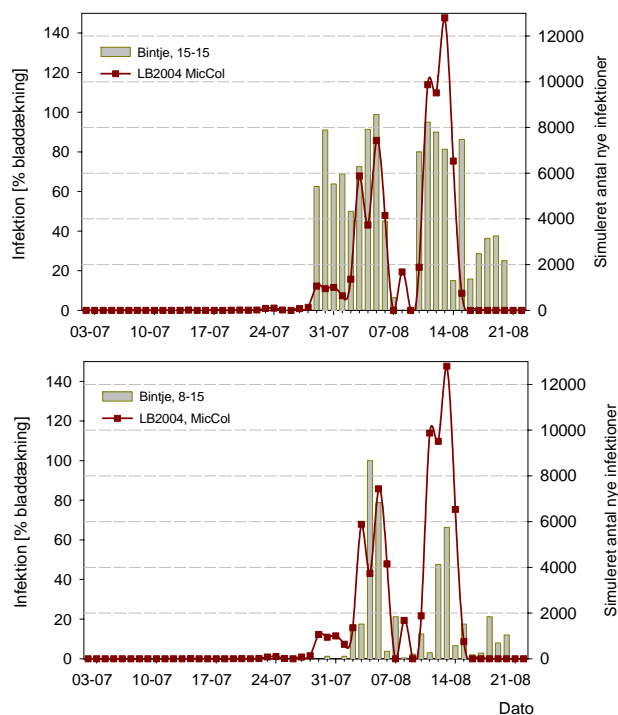
skyldes, at simuleret (og observeret) sygdomsniveau fra den 15. august var 100%. Derfor er det sandsynligt, at disse infektioner på fangplanterne skyldes sporangier, som er produceret fra andre forsøgsfelter ved Flakkebjerg. Netop i den nævnte periode var produktionen af sporangier i Oleva feltet maksimum.



Figur 39. Sammenligning mellem LB2004 modelens beregning af fugtighedens indflydelse på sporangiedannelse og beregning af HSP0 med henholdsvis Grid data (øverst) og METOS data inklusive bladfugt (nederst). * LB2004 beregner risiko for sporulering den 2.-5. august. Risiko for sporulering beregnes også i den samme periode med HSP0 og Metos inklusive bladfugt, men ikke med GRID data. LB2004 er beskrevet i afsnit 2.15.



Figur 40. Sammenligning af LB2004 beregning af faktor for sporangieproduktion og beregning af HSP0 med Metos vejrdata inklusive bladfugt og nedbør som fugtighedsfaktor. LB2004 er beskrevet i afsnit 2.15.



Figur 41. Sammenligning af LB2004 simulering af antal nye infektioner (MicCol, Micro colonies) med infektion på fangplanter udsat dagen før kl. 15 og hjemtaget samme dag (øverst) og angreb på fangplanter udsat samme dag kl. 8 og hjemtaget samme dag kl. 15. LB2004 er beskrevet i afsnit 2.15.

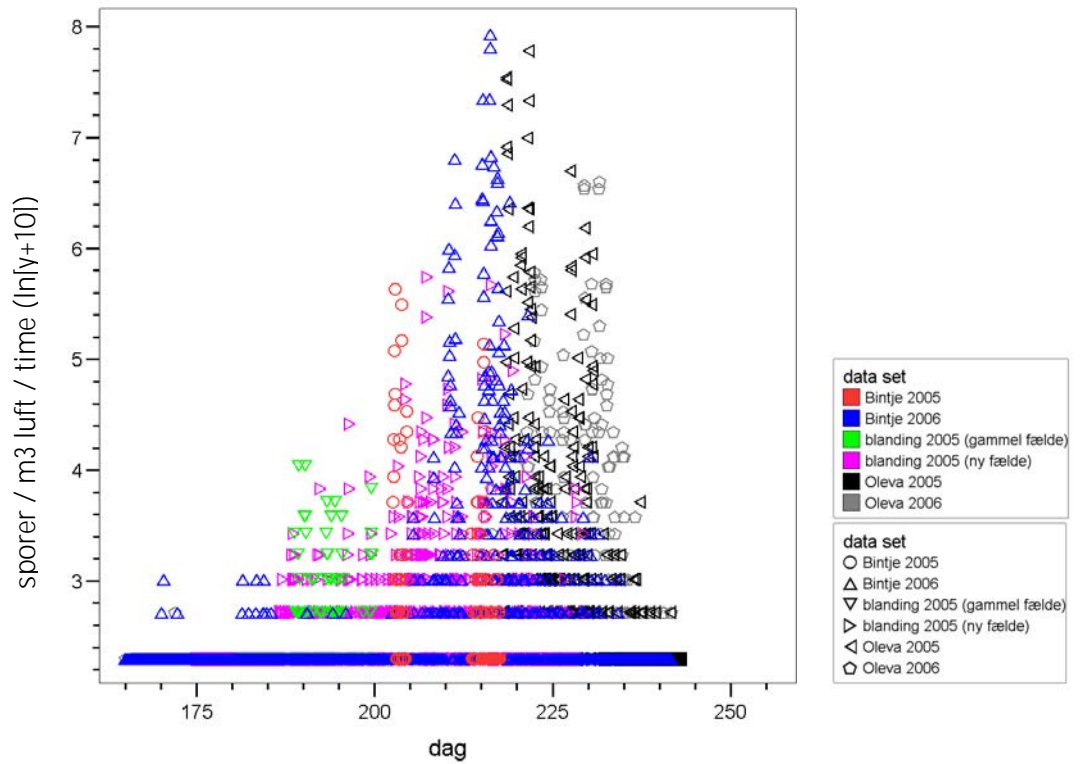
3.9 Analyse af time-data for sporespredning

I det følgende bringes analyse af timevis tidsseriedata for sporespredning. Metoden er omtalt i afsnit 2.10.

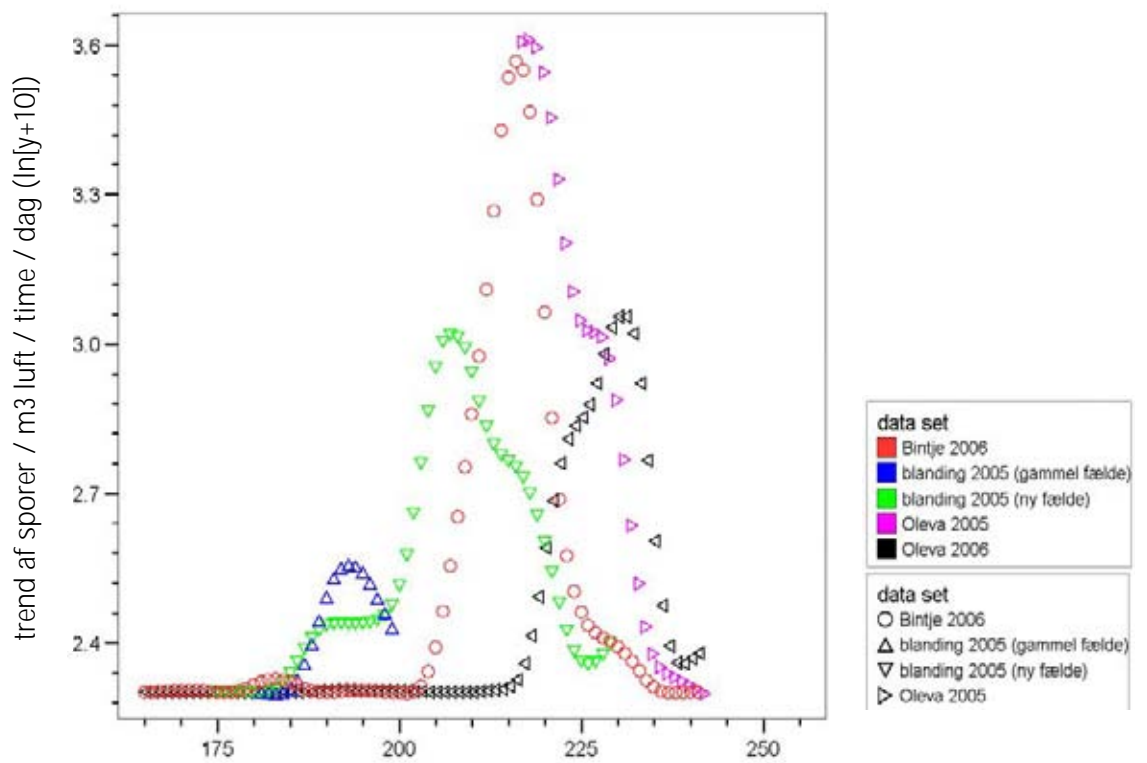
3.9.1 Deskriptive resultater

I figur 42 er vist timeværdier for fangsten af sporer af Burkard sporefælden over tid i sorterne Binthe og Oleva i 2005 og 2006 og i en sortsblending i 2005. Der er stor variation i sporefangst indenfor og i mellem dagene. Dog kan man tydeligt se en unimodal trend indenfor sæsonen. Det betyder, at der findes et maksimum i sporefangsttallene mellem dagene 190 og 255.

Trenden i sporefangst for de enkelte sorter og år er vist i figur 43. De er beregnede som udglatninger af den aktuelle sporefangst (se 2.10 for beregningsmetode) og indikerer den syge afgrødes sporuleringspotentiale, det vil sige dens evne til at kunne producere sporer. Trendene for sporefangst er nogenlunde unimodale, det vil sige de har et udpræget maksimum. De ligner faktisk de sigmoide kurver, der opnås, når udvikling i skimmelangreb over tid (y_t , hvor $t = \text{tid}$) bliver justeret for udvikling af dødt bladvæv (nekrotiseringsgraden), som antages at stige med angrebsniveauet som: $y_t' = y_t(1 - y_t/100)$; dataene er ikke vist her. Eksempler på sigmoide forløbskurver er figur 14 og 15. Dette illustrerer, at betydningen af sygdomsangreb i afgrøden som inokulumkilde svinder, jo mere angrebsgraden og dermed nekrotiseringsgraden nærmer sig 100 procent. Dette kan forklares med et lavt sporuleringspotentiale af nekrotisk (dødt) bladareal.

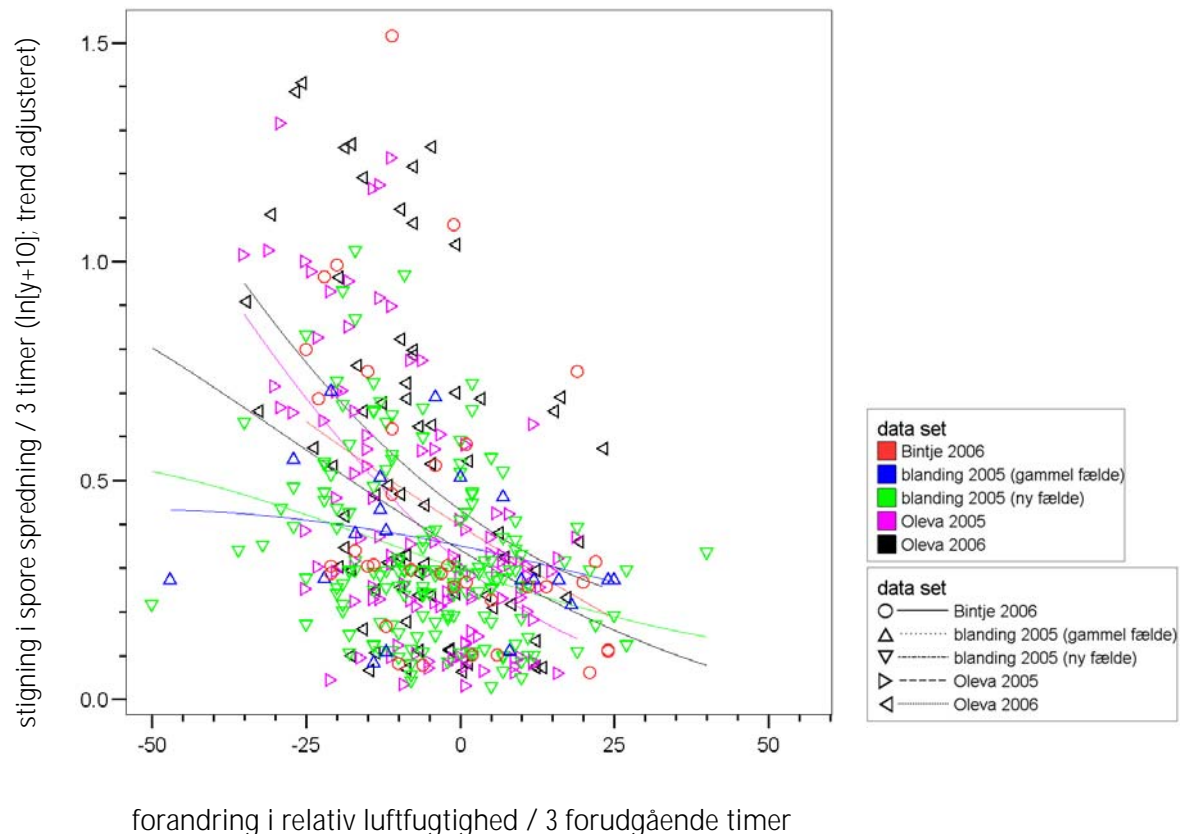


Figur 42. Timevis sporefangst i Burkard sporefælde over tid. X akser angiver dagen af året.



Figur 43. Trends tilpasset til gennemsnitlig daglig sporefangst i Burkard sporefælde over tid. X akser angiver dagen af året.

Et eksempel på sammenhæng mellem sporefangst og status af vejrtilstander for sporespredning er vist i figur 44, hvor der kan ses en negativ sammenhæng mellem forandring i relativ luftfugtighed i løbet af de 3 forudgående timer (x-aksen) og trend-justeret sporefangstrate (y-akse). Det betyder, at jo mere den relative luftfugtighed er faldet i de 3 forudgående timer, jo flere sporer spredes og fanges i sporefælden. Kurverne i figur 44 er udglattede og beregnet ved hjælp af lokalt vægtet regressionsmetode beskrevet af Cleveland (1979). Kurverne repræsenterer udglatninger til at anskueliggøre trends og skal ikke anses som regressionsmodeller til estimering.



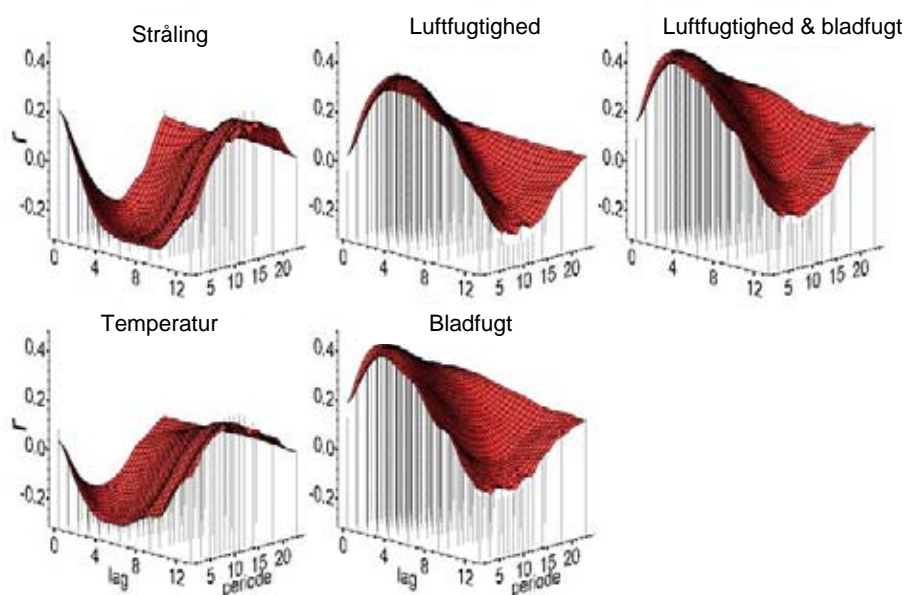
Figur 44. Sammenhæng mellem sporefangstrate justeret for sæsonal trend i afgrødens sporuleringspotentialer (dy'/dt , se 2.10 for beregningsmetode) og forudgående forandring i relativ luftfugtighed. Bemærk: kurverne er ikke baseret på eksplícitte modeller men viser blot trends beregnet via "locally weighted regression" (Cleveland 1979); deres ikke-linearitet er ikke nødvendigvis signifikant.

3.9.2 Sporulering: Korrelationer mellem sporefangst og betingelser for sporulering

Resultater af lag-korrelationer fremgår af figur 45, hvor der er undersøgt for sammenhæng mellem stigning (= positiv forandring over tid) i sporespredning (trend-justeret) i de sidste 3 timers forløb og vejrvariabler, der påvirker sporuleringsbetingelserne i forudgående perioder (gennemsnit over periode i den pågældende lag-trin). Tidspunkterne af perioderne blev varieret fra 0 til 13 timer (lag 0 = 0 timer forudgående, ..., 13 = 13 timer forudgående), og periodernes længde blev varieret fra 2 til 24 timer. Den tætteste sammenhæng (= absolut højeste korrelationskoefficient) mellem trend-justeret sporespredningsrate og forudgående vejrtilstander findes for

bladfugt og relativ luftfugtighed 3 timer bagud (lag = 3 timer) for en periode på 4 timer (bladfugt, $r = 0,430$) respektive 7 timer (relativ luftfugtighed, $r = 0,344$). Selv om korrelationskoefficienterne er for ringe til at tillade pålidelige kvantitative estimeringer, så er de alligevel højt signifikante ($p < 0,0001$), fordi antallet af observationer var meget højt (> 400).

Hvis vi beregner en ny variabel for gennemsnit af bladfugt og relativ luftfugtighed $((x_1/100) + (x_2/60)) / 2$, hvor $x_1 = \% \text{ luftfugtighed}$ og $x_2 = \text{minutter bladfugt/time}$, opnås en endnu højere korrelation ($r = 0,451$) med sporespredning for forholdene 3 timer bagud (lag = 3) og periode på 4 timer (figur 45, øverst til højre). Korrelationerne for temperatur og globalstråling er væsentlig lavere (absolut set) og med modsat fortegn sammenlignet med bladfugt og relativ luftfugtighed.



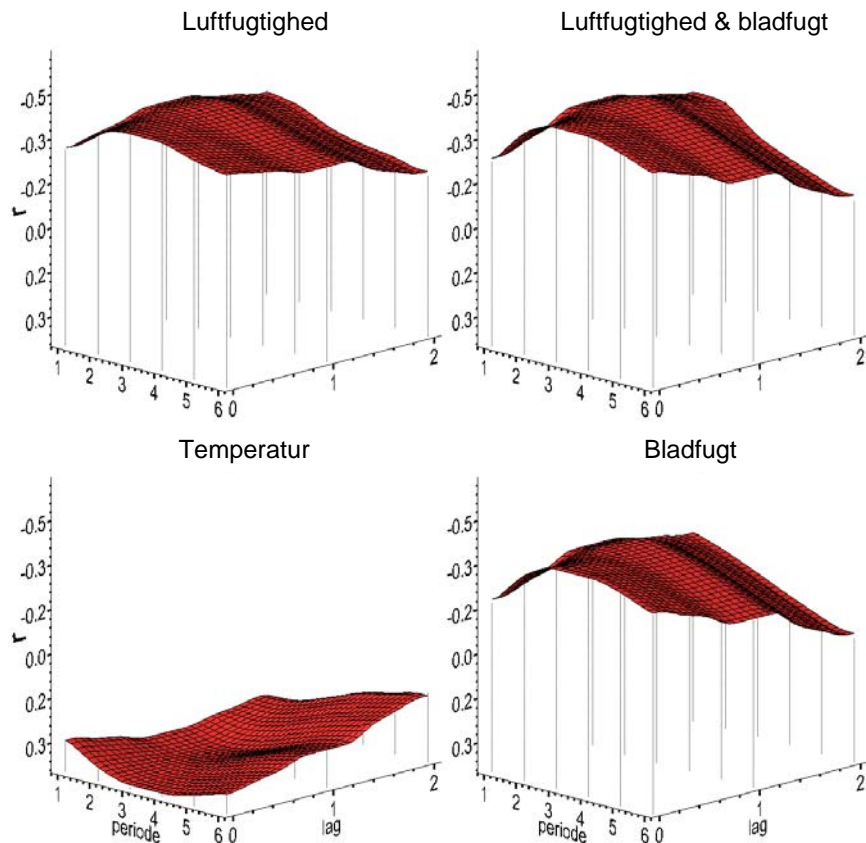
Figur 45. *Sporulering*. Korrelationskoefficient af lag-korrelationer (r , y-akse) til undersøgelsen af sammenhæng mellem trend-justeret sporefangstrate (se 2.10 for beregningsmetode og forklaring) og vejrvariabler, der påvirker sporuleringsbetingelserne i forudgående perioder (gennemsnit over periode). Perioder af 2 til 24 timers længde (2. x-akse) blev korreleret med trend-justeret sporefangstrater med tidsforskydning (lag) fra 0 til 13 timer (1. x-akse). Overfladerne er udglatninger beregnet via "locally weighted regression" (Cleveland, 1979). Antal observationer varierer fra $n = 395$ til $n = 408$. Data for Bintje 2006 ikke med efter 2. august.

Resultaterne antyder, at sporulering og dermed antal sporer, der potentielt kan spredes, er højere jo højere luftfugtigheden og/eller jo mere intensiv bladfugt i den 3 timers forudgående tidsperiode af 4 til 7 timers varighed har været. En tydelig positiv maksimal korrelation findes også for globalstråling ved lag = 13 timer og periode = 13 timer, som antyder, at den forudgående dags solindstråling påvirker dannelsen af sporer i den efterfølgende tidsperiode.

3.9.3 Spredning af sporer: Korrelationer mellem sporefangst og forandring i betingelserne for sporespredning

Sporespredningsraterne blev korreleret med variabler, der angiver forandringer i forudgående vejrtilstande. Det blev gjort med forskellige tidsforskydningstrin (= lag i timer) og tidsperioder (figur 46).

Den absolut tætteste korrelation for sammenhæng mellem sporespredningsrate og forandring i forudgående vejrtilstande findes ved lag = 0 timer og periode længde = 3 timer, det vil sige for forandringerne i vejrtilstandene i løbet af de sidste 3 timer (figur 46). Denne tidsperiode er identisk med tidsperioden, for hvilket sporespredningsraterne blev beregnet. Fugtighedsvariabler korrelerer negativt ($r =$ mellem $-0,358$ og $-0,411$) og temperaturer positivt ($r = 0,395$).



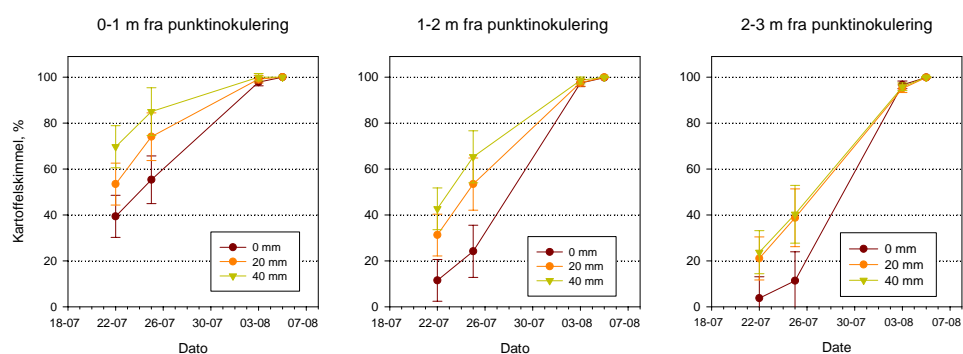
Figur 46. *Spredning af sporer*. Korrelationskoefficient af lag-korrelationer (r , y-akse) til undersøgelsen af sammenhæng mellem trend-justeret sporefangstrate (se 2.10 for beregningsmetode og forklaring) og vejrvariabler, der indikerer forandring af betingelserne for sporespredning i forudgående perioder (gennemsnit over periode). Perioder af 1 til 6 timers længde (1. x-akse) blev korreleret med trend-justeret sporefangstraterne med tidsforskydning (lag) fra 0 til 2 timer (2. x-akse). Overfladerne er udglatninger beregnet via "locally weighted regression" (Cleveland, 1979). Antal observationer varierer fra $n = 404$ til $n = 407$. Data for Bintje 2006 ikke med efter 2. august.

Resultaterne indikerer, at sporespredningen stiger, jo mere luftfugtigheden er faldet og/eller bladfugt forkortet, og jo mere temperaturen er steget i samme tidsperiode. Fortegnene for de korrelationskoefficienter, der indikerer sporespredningsbetingelserne, er dermed i modsætning til de fortegn, der findes for sporuleringsbetingelserne (sml. med figur 45). Det indikerer for eksempel, at høj luft- og/eller bladfugtighed fremmer sporeproduktionen, mens de hindrer frigørelse og spredning af sporer (som kræver de modsatte betingelser, det vil sige lav fugtighed). Kvantificering af timevis sporespredning baseret på disse beregninger ville dog resultere i ret usikre

estimeringer, fordi korrelationskoefficienterne er meget ringe, selv om de er højt signifikante.

3.10 Spredning af sporer ved regnplask

Forsøg med regn eller vandings betydning for lokal spredning af kartoffelskimmel blev kun udført i 2005 på Flakkebjerg (beskrevet i metodeafsnit 2.7). Der blev smittet med kartoffelskimmel den 22. juni på enkelte planter i parcellerne. Disse planter var tydeligt angrebet den 6. juli, hvor vanding blev foretaget med 20 mm og 40 mm. Vandingen forårsagede en tydelig lokal spredning af sporer, og der var kraftigere angreb af kartoffelskimmel ved højeste vandmængde op til en måned efter smitte. Senere udviskedes forskellene, da kartoffelskimmel udviklede sig i alle parcellerne (figur 47).



Figur 47. Lokal spredning af kartoffelskimmel efter vanding med 20 mm og 40 mm den 6. juli. Skimmelangreb er bedømt henholdsvis 1 m 1-2 m og > 2 m fra punktinokulering. 2005.

3.11 Forbedring af DMI-HIRLAM

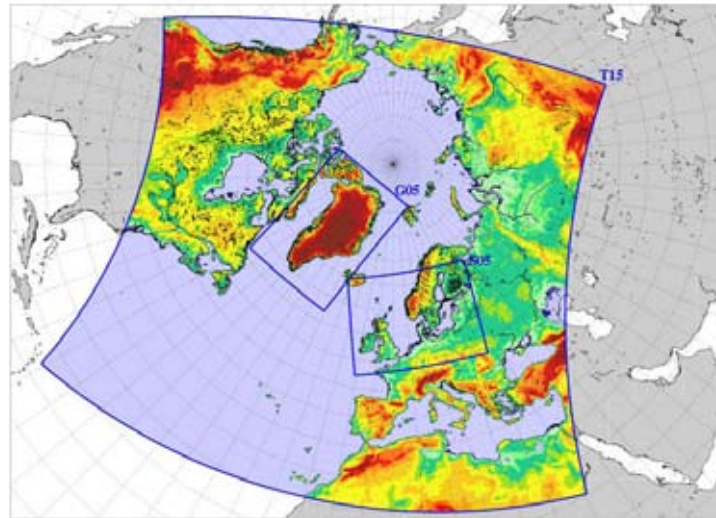
3.11.1 Forudsigelse af RH i numeriske vejrmodeller

Numeriske vejrmodeller har vanskeligt ved at forudsige RH med stor nøjagtighed. Det skyldes først og fremmest problemer med at forudsige fordampning fra jordoverfladen korrekt, primært på grund af mangelfuld information om vandindholdet i jordskorpen og det underliggende jordlag. Desuden bidrager både prognosefejl i temperatur og fugtighed til prognosefejl i RH. I modellen vil f.eks. for stor fordampning fra overfladen alt andet lige bidrage til for lav temperatur, fordi varmen, der bruges til fordampning, afkøler luften. Den vil også bidrage til for høj fugtighed i luften, fordi der tilføres vanddamp til luften ved fordampning. Ved fastholdt luftfugtighed vokser RH med faldende temperatur, og ved fastholdt temperatur vokser RH med stigende luftfugtighed. For stor fordampning fra overfladen bidrager derfor til en for høj RH, som følge af både faldende temperatur og stigende luftfugtighed.

I DMI-HIRLAM (beskrevet i Appendiks C), der beregner vejrprognoser for flere områder jfr. figur 48, benyttes specifik fugtighed, det vil sige mængden af vanddamp i kg pr. kg luft, som mål for vanddampindholdet. Specifik fugtighed afhænger af luftens temperatur, tryk og vanddampindhold. Hvis der ved en given temperatur og et givet tryk tilføres mere og mere vanddamp til luften, vil den specifikke fugtighed kunne nå sin mætningsværdi. Når det sker, har luften nået en RH på 100%. Yderligere tilførsel af vanddamp vil medføre

kondensation (dråbedannelse), som sørger for, at den specifikke fugtighed fastholdes på sin mætningsværdi. Sidstnævnte afhænger af temperatur og tryk. Som beskrevet ovenfor er ændringer i RH bestemt ved ændringer i luftens temperatur og specifikke fugtighed. Ved jordoverfladen er ændringer i de sidstnævnte parametre i høj grad bestemt af henholdsvis energi- og vandbudgettet ved jordoverfladen.

Beregningsområderne er vist i figur 48. En beskrivelse af DMIs prognosemodellsystem findes i Sass *et al.* (2002) og Undén *et al.* (2002) samt Appendiks B og C.



Figur 48. De forskellige modelområder T15, S05 og G05 som benyttes i DMI-HIRLAM. Cifrene i navnene for modelområderne angiver den omtrentlige horisontale afstand i km mellem beregningspunkterne. De eksperimentelle versioner T1T og S0T, der er omtalt i teksten, benytter de samme områder som henholdsvis T15 og S05. S05 og G05 dækker henholdsvis sydskandinavien og Grønland.

Det fremgår af figur 48, at T15 og T1T, der har 40 niveauer i atmosfæren og i hvert niveau en horisontal afstand mellem beregningspunkterne på ca. 15 km, beregner prognoser for et meget stort område, der dækker hele Europa, Polarhavet og det meste af Nordatlanten og Nordamerika (inklusive Grønland). S05 og S0T beregner prognoser for det skandinaviske område, og har ligesom T-modellerne 40 niveauer i atmosfæren, men en mere finmasket horisontal opløsning med ca. 5 km mellem beregningspunkterne.

I DMI-HIRLAM indeholder energibudgettet:

- Nettostråling (R_N)
- Turbulent sensibel varmetransport (H_S)
- Turbulent latent varmetransport (H_L)
- Molekylær jord varmetransport (H_C)

H_S og H_L ligner den molekylære varmeledning, men det er turbulente luftbevægelser i stedet for molekylære sammenstød, der fører til 'varmeledningen'. Den turbulente 'varmeledning' er langt mere effektiv end den molekylære, hvilket betyder, at man i vejrmodeller kan tillade sig at se bort fra den molekylære varmeledning i luften. Over/underskudsvarmen $R_N - (H_S + H_L + H_C)$ går til at opvarme/afkøle det øverste jordlag (i DMI-HIRLAM er dette lag 0,01 m tykt).

Vandbudgettet indeholder:

- Turbulent transport af vanddamp (E) mellem overflade og luft
- Nedbør (P)
- Transport af jordvand (M) til/fra det øverste jordlag

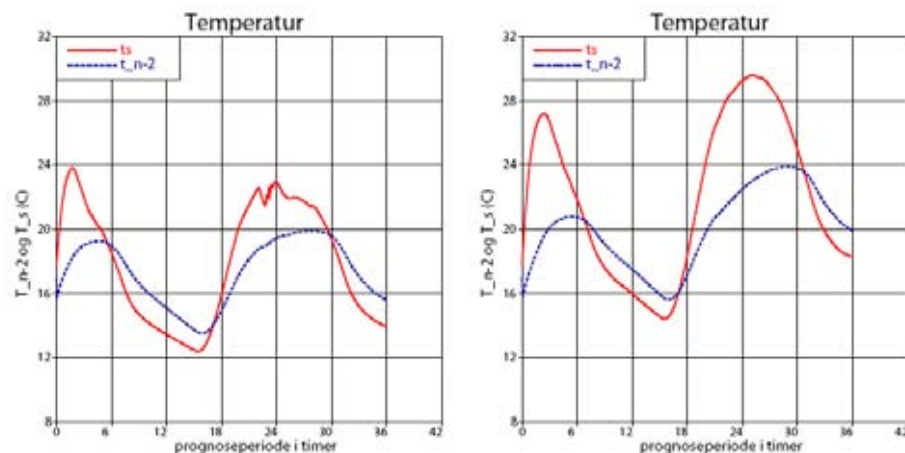
Over/underskudsvandet $P+M-E$ går til at forhøje/formindske vandindholdet i det øverste jordlag. Der er en øvre grænse for, hvor stort vandindholdet kan være i dette lag. Hvis denne grænse overskrides, behandles overskudsvandet i DMI-HIRLAM som afløbsvand (run off) fra overfladen.

Der er en sammenhæng mellem H_L og E givet ved

$$H_L = \rho \cdot L \cdot E$$

hvor L er fordampningsvarmen og ρ luftens massefylde.

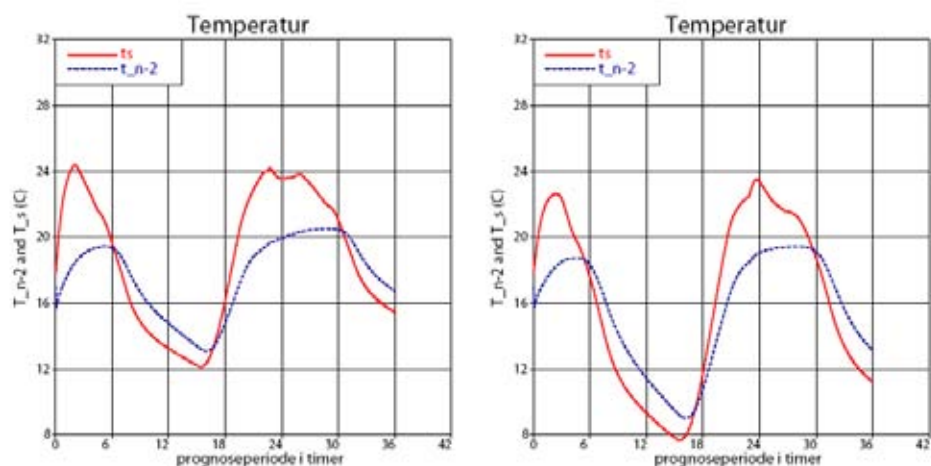
Temperaturens følsomhed overfor ændring i H_L (turbulent latent varmetransport) som følge af udtørring af det øverste jordlag, er illustreret i figur 49. Denne figur viser en kørsel med søjleversionen af DMI-HIRLAM. Starttidspunktet for 36 timers prognosen er 12 UTC (kl. 14 dansk sommertid) den 2. juni 2004. Til starttidspunktet benyttes radiosonde målinger fra Slesvig, interpoleret til søjleversionens beregningspunkter. En radiosonde er en ballon forsynet med en radiosender, som under opstigningen sender målinger af temperatur, fugtighed og vind fra forskellige højder til en modtager på jorden. Figur 49 viser, at en halvering af vandindholdet i det øverste jordlag medfører en betydelig stigning i overfladetemperaturen og temperaturen i 2,3 meters højde.



Figur 49. Prognose med start 12 UTC (kl. 14 dansk sommertid) den 2. juni 2004 for overfladetemperatur (T_s) og temperatur i 2,3 meters højde (T_{n-2}) ved Slesvig i en søjleversion af DMI-HIRLAM. Figuren viser effekt af ændring i vandindholdet i det øverste jordlag. Til venstre og højre er vandindholdet henholdsvis 0,4 og 0,2 m^3/m^3 . Ved kørslerne er benyttet $z_{0m}=0,05$ m, $R_m=3750$ og vegetationstype 'lav vegetation', som dækker hele jordoverfladen. R_m indgår i beregningen af ruhedsparmeteren for temperatur, z_{0t} , og z_{0m} er ruhedsparmeteren for vind. For flere detaljer se Appendiks B.

Figur 50 viser tilsvarende temperaturens følsomhed over for H_C (den molekylære varmetransport i jorden). Figuren viser, at en sænkning af temperaturen på 10°C i modellens dybeste jordlag medfører en betydeligt lavere overflade- og lufttemperatur om natten. Eksemplerne tjener til at illustrere, at unøjagtigt kendskab til parametre som vandindhold og

temperatur i jorden er kilder til fejl i den forudsagte relative fugtighed på grund af fejl i forudsigelsen af temperatur og specifikke fugtighed.



Figur 50. Prognose fra 12 UTC (kl. 14 dansk sommertid) den 2. juni 2004 for overfladetemperatur (T_s) og temperatur i 2,3 meters højde (T_{n-2}) ved Slesvig i en søjleversion af DMI-HIRLAM. Figuren viser effekt af ændring i molekylær varmetransport i jorden. Til venstre og højre er temperaturen T_d i model lens dybeste jordlag henholdsvis lig med og 10°C koldere end overfladetemperaturen T_s . Ved kørslerne er benyttet $z_{om}=0,05\text{ m}$, $R_m=3750$ og vegetationstype 'lav vegetation', som dækker hele jordoverfladen. R_m og z_{om} har samme betydning som i figur 48.

Ændringer i DMI-HIRLAM foretaget i projektet

I tilknytning til projektet er der foretaget flere ændringer (se følgende afsnit). Alle disse ændringer, undtagen en, har direkte indflydelse på H_L , E og H_s og dermed på ændringer i overfladetemperatur og overfladefugtighed. Ændringerne er først blevet testet i en søjleversion (det vil sige endimensional version) af HIRLAM. Antallet af beregningspunkter i den lodrette søjle, som er ca. 30 km høj, blev til formålet udvidet fra 40 til 80 punkter (med de fleste ekstra punkter i bunden af atmosfæren) for at få en mere nøjagtig beskrivelse af ændringen med højden af temperatur, fugtighed og vind nær jordoverfladen.

Derefter blev ændringerne testet på en sommerdag i 2004 i en eksperimentel version af DMI-HIRLAM. Beregningsgitteret i DMI-HIRLAM har 3 dimensioner (to horisontale og en lodret). Horisontalt er der i den benyttede version ca. 5 km mellem beregningspunkterne, og lodret er der i atmosfæren 40 beregningspunkter for hvert beregningspunkt i det horisontale gitter. Beregningspunkterne i lodret retning er valgt sådan, at afstanden mellem punkterne er mindst nær overfladen med det første beregningspunkt ca. 35 m over overfladen. Beregning af temperatur og fugtighed i 2 meters højde foregår i modellen ved at benytte turbulenteori for det nederste modellag (de nederste ca. 35 meter).

Den sidste og mest omfattende test var en semi-operationel kørsel af det eksperimentelle system parallelt med de operationelle kørsler over en periode på ca. en måned. Den semi-operationelle kørsel foregår på samme måde som den operationelle kørsel, men prognoserne beregnes først efter, at de operationelle prognoseberegninger er afsluttet. Ændringerne blev implementeret i DMI-HIRLAM og sat i operationel drift den 1. juni 2005. Til slut vises verificeringsresultater for RH for sommerperioderne 2005 og 2006.

3.11.2 Forbedringer i beregning af relativ luftfugtighed

Med baggrund i problemstillingen præsenteret ovenfor er der blevet foretaget flere ændringer i modellen med det primære formål at forbedre forudsigelsen af RH gennem forbedringer i beregningen af temperatur og specifik fugtighed på jordoverfladen og i atmosfæren.

Der er blevet foretaget ændringer i beregningen af

- 1: Ruhedsparemeter for temperatur (z_{ot}) og specifik fugtighed (z_{oq})
- 2: Specifik fugtighed
- 3: Turbulens
- 4: Justering af en række klimaparametre

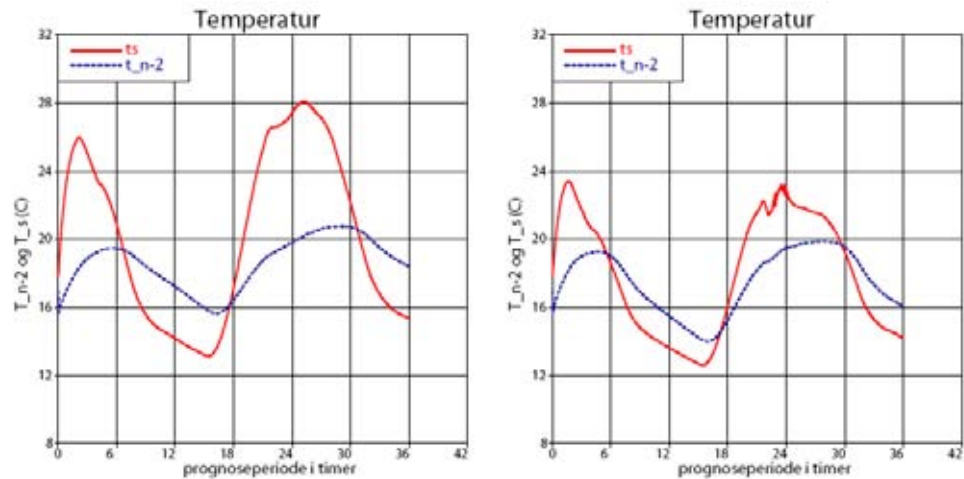
Nedenfor gives en kort beskrivelse af ændringerne. En mere detaljeret beskrivelse med formler findes i Appendiks B.

3.11.3 Ændring af ruhedsparemeter for temperatur og fugtighed

Ruhedsparemeteren for vind (z_{om}) er den højde over overfladen, hvor middelvinden er nul. En sneoverflade har typisk en ruhed på 1mm, mens et byområde typisk har en ruhed på 1 til 2 meter. Tilsvarende er z_{ot} og z_{oq} de højder, hvor temperatur og fugtighed er lig med henholdsvis overfladens middeltemperatur og middelfugtighed.

Ruhedsparemeteren for temperatur (z_{ot}) og specifik fugtighed (z_{oq}) har betydning for, hvor hurtigt temperatur og specifik fugtighed ændrer sig med højden ved jordoverfladen. Jo mindre z_{ot} er, desto større er forskellen mellem overfladetemperaturen og temperaturen i f.eks. 2 meters højde. Årsagen er, at en mindre værdi af z_{ot} giver en større døgnvariation i overfladetemperaturen, mens døgnvariationen i temperaturen i f.eks. 2 meters højde ikke vokser i nær samme grad. Tilsvarende forhold gælder for specifik fugtighed.

I DMI-HIRLAM, hvor $z_{ot} = z_{oq}$, er der konstateret en tendens til for stor døgnvariation i overfladetemperaturen, der f.eks. viser sig ved en tendens til for høje overfladetemperaturer om dagen. Ændring 1 består derfor i at øge værdien af z_{ot} og samtidig fastholde $z_{ot} = z_{oq}$. I modellen er dette gjort for overflader uden vegetation og for overflader med lav vegetation. Tekniske detaljer vedrørende ændringen er beskrevet i Appendiks B. Effekten af ændringen er illustreret i figur 51. Denne figur viser resultater af prognosekørsler med søjleversionen af DMI-HIRLAM. Ved starten af prognoserne benyttes radiosonde målinger fra Slesvig 12 UTC (kl. 14 dansk sommertid) den 2. juni 2004. I delfiguren til højre på figur 51 er z_{ot} større end i figuren til venstre (se Appendiks B for flere detaljer). Figuren viser tydeligt, at en større værdi af z_{ot} medfører en mindre døgnvariation i overfladetemperaturen og lidt lavere lufttemperaturer nær overfladen (på figuren i 2,3 meters højde).



Figur 51. Prognose fra 12 UTC (kl. 14 dansk sommertid) den 2. juni 2004 for overfladetemperatur (T_s) og temperatur i 2,3 meters højde (T_{n-2}) ved Slesvig i en søjleversion af DMI-HIRLAM. Figuren viser effekten på temperaturen på overfladen og i atmosfæren af at gøre forholdet mellem ruhedslængderne for vind og temperatur (z_{om}/z_{ot}) mindre. Til højre er $z_{ot} = z_{om}$, til venstre er $z_{ot} < z_{om}$ og beregnet fra formel (3) i appendiks B. Ved kørslerne er $z_{om}=0,05m$, og vegetationstypen er 'lav vegetation', som dækker hele jordoverfladen. Se Appendiks B for flere detaljer.

3.11.4 Ændring i beregning af specifik fugtighed ved overfladen

Fordampning fra jordoverfladen foregår både fra vegetation og fra den vegetationsfrie del af jordoverfladen. Metoden, som benyttes i DMI-HIRLAM, er beskrevet i Noilhan and Planton (1989) og Bringfelt (1996). I bestræbelserne på at forbedre forudsigelsen af RH er der foretaget en ændring i beregningen af den relative fugtighed ved overfladen (RH_0).

Fordampningen (eller mere præcist den turbulente transport af vanddamp mellem luft og jordoverflade) er i DMI-HIRLAM proportional med vindhastigheden i det nederste modelniveau og proportional med differensen i specifik fugtighed ($q_0 - q_N$) mellem overfladen og det nederste modelniveau i atmosfæren. Sammenhængen mellem specifik og relativ fugtighed ved overfladen er

$$q_0 = q_{0s} \cdot RH_0$$

hvor q_{0s} er mætningsværdien ved overfladen. Ved mætning kan luften ikke indeholde mere vanddamp. Hvis der tilføres yderligere vanddamp, vil der ske kondensation (dannelse af skydråber), indtil den specifikke fugtighed igen er lig med mætningsværdien. Da det mættede vanddamtryk vokser eksponentielt med temperaturen, gælder det samme også for q_{0s} .

Fordampning fra overfladen er i DMI-HIRLAM som nævnt proportional med $q_{0s} \cdot RH_0 - q_N$. Det betyder, at fordampningen fra overfladen er stærkt afhængig af, hvordan RH_0 ændrer sig, hvis f.eks. overfladetemperaturen og dermed også q_{0s} stiger som følge af solopvarmning. I DMI-HIRLAM er der konstateret en tendens til for hurtig udtørring af det øverste jordlag navnlig om sommeren i dagtimerne, hvilket har en tendens til at give for lav fordampning og for lidt fugtighed (og for lav RH) i luften. Ændringen i projektsammenhæng består i at lade RH_0 ændre sig langsommere som funktion af vandindholdet i det øverste jordlag. Detaljerne er beskrevet i Appendiks B.

3.11.5 Ændring i beregning af turbulens

Atmosfærisk turbulens virker analogt til molekylær diffusion, blot er den langt mere effektiv til at udglatte rumlige gradienter i meteorologiske størrelser som vind, temperatur, specifik fugtighed og skyvand. Sidstnævnte er ligesom specifik fugtighed målt i kg pr. kg luft. Turbulens er derfor en meget vigtig fysisk proces i atmosfæren, ikke mindst tæt ved jordoverfladen, hvor turbulensen normalt er mest intens. Ændringen, der er foretaget i beregningen af turbulens, har virkning i hele atmosfæren. Den er temmelig teknisk og beskrevet nærmere i Appendiks B.

3.11.6 Justering af klimaparametre

Ud over de nævnte ændringer 1 til 3 blev der også foretaget en justering af månedsmiddelværdier for følgende klimaparametre: minimum bladmodstand mod fordampning (stomatal resistance), vegetationsbrøkdel (vegetation fraction) for hver landskabsklasse (land cover class) og bladareal indeks (leaf area index, LAI). Desuden blev et diskontinuert skift i klimaparameterværdier ved månedsskift afløst af en gradvis ændring baseret på glidende midling, således at klimaværdien for f.eks. den 20. juni nu er en vægtet sum af klimaværdien for juni (vægt ca. 5/6) og klimaværdien for juli (vægt ca. 1/6).

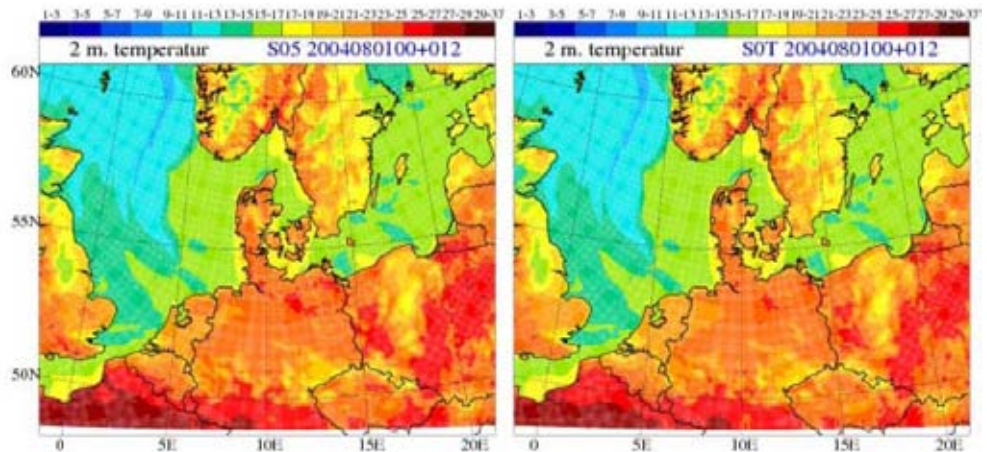
3.11.7 Test-case

Ændringerne, beskrevet ovenfor, blev implementeret i eksperimentelle versioner af DMI's prognosemodelsystem, henholdsvis:

- S0T svarende til den operationelle version S05
- T1T svarende til den operationelle version T15

Modelområderne er vist i figur 48. Det fremgår af denne figur, at T15 og T1T har 40 niveauer i atmosfæren og i hvert niveau en horisontal afstand mellem beregningspunkterne på ca. 15 km. S05 og S0T beregner prognoser for det skandinaviske område og har ligesom T-modellerne 40 niveauer i atmosfæren, men en mere finmasket horisontal opløsning med ca. 5 km mellem beregningspunkterne.

Figur 52 viser 12 timers operationelle S05 prognoser og eksperimentelle S0T prognoser for temperaturen i 2 meters højde (T2m) gældende til 12 UTC (kl. 14 dansk sommertid) den 1. august 2004. Det fremgår af figur 52 og navnlig i de røde farver, at S0T flere steder over land har lidt lavere temperaturer end S05, hvilket indikerer, at ændringerne 1 til 3 sammen med justering af nogle klimaparametre bidrager til at reducere den positive middelfejl i T2m, som kendetegnede den operationelle model S05. Figur 52 er et enkelt eksempel til et enkelt tidspunkt og kan derfor kun give et fingerpeg om, hvorvidt de indførte ændringer går i den rigtige retning. En statistisk mere sikker viden kan kun fås ved at lave et stort antal prognoser under forskellige vejrforhold.



Figur 52. DMI-HIRLAM 12 timers prognoser for temperaturen i 2 meters højde fra 00UTC (kl. 02 dansk sommertid) den 1. august 2004. Til venstre resultatet fra DMIs operationelle prognosemodel S05, til højre resultatet for den eksperimentelle version S0T med de ændringer, som er omtalt i teksten. Læg mærke til de lidt lavere temperaturer i S0T, som ses i de røde farver. Farveskalaen øverst på figuren er i °C.

3.11.8 Parallelkørsler

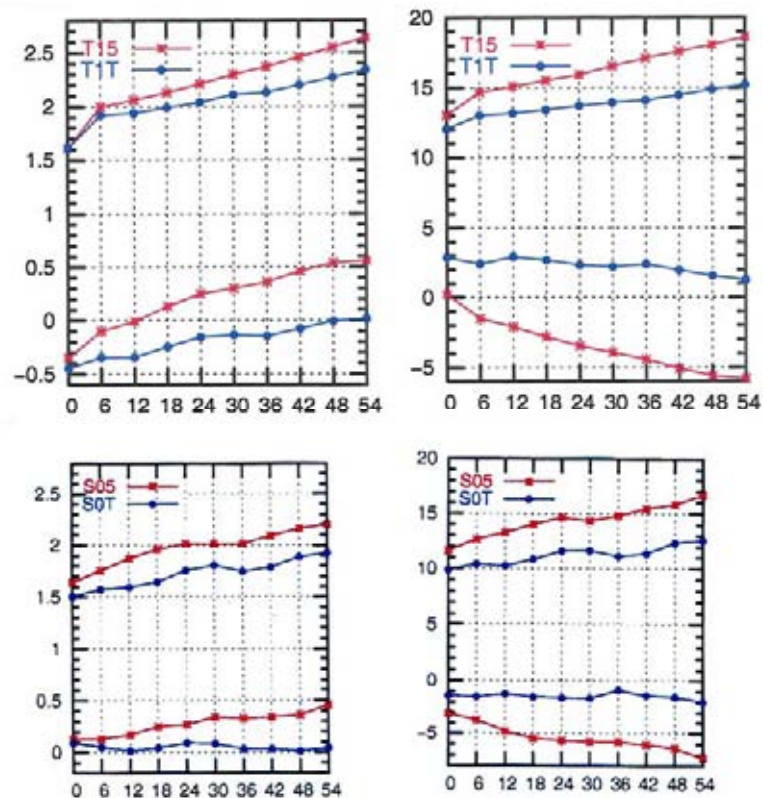
Med det formål at opnå en mere pålidelig statistik for temperatur og relativ fugtighed nær overfladen blev det eksperimentelle modelsystem (T1T og S0T) kørt parallelt med det operationelle system (med adgang til præcis de samme observationer som det operationelle system) gennem det meste af maj 2005. Under forudsætning af et tilfredsstillende udfald af parallelkørslerne var målet at sætte det eksperimentelle system i operationel drift den 1. juni, det vil sige tidligt i vækstsæsonen for kartofler. For at kunne opfylde dette tidskrav blev parallelkørslerne afsluttet 00UTC den 26. maj. Verificering af prognoserne mod observationer for perioden med parallelkørsler fra 1. til 26. maj 2005 er vist i figur 53.

På grund af store rumlige og tidlige variationer i fugtighed og temperatur ved overfladen måles disse parametre i en højde over overfladen, hvor variationerne er dæmpet. Som et kompromis har man valgt at måle i 2 meters højde. Verificeringsresultaterne nedenfor er derfor for T2m og RH2m (henholdsvis temperatur og relativ fugtighed i 2 meters højde).

Øverste række i figur 53 viser resultater for T15 og T1T. Prognoseværdier sammenlignes med udvalgte observationer fra Europa (den såkaldte EWGLAM observationsliste). Nederste række i figur 53 viser tilsvarende resultater for S05 og S0T, men her er verificeringen udelukkende mod danske observationer. Prognoseværdier interpoleres lineært fra beregningspunktet nærmest observationspunktet til observationspunktet før sammenligning med observationen. Det fremgår af figur 53, at både middelfejl og rms fejl for T2m og RH2m er forbedret i de eksperimentelle versioner T1T og S0T. I verificeringen mod europæiske observationer ses, at den negative RH2m-middelfejl i den operationelle model T15 er blevet afløst af en (numerisk mindre) positiv middelfejl i den eksperimentelle model T1T. I verificeringen mod danske observationer har S05 og S0T begge en negativ RH2m middelfejl, men middelfejlen i S0T er tættest på nul.

På baggrund af de opnåede resultater i figur 53 og verificeringsresultater fra testkørsler for en vinterperiode (figur ikke vist) blev det besluttet at sætte det eksperimentelle system (T1T, S0T) i operationel drift fra den 1. juni 2005. På grund af utilstrækkelig computerkapacitet var det ikke muligt at fortsætte

prognosekørslerne med modelsystemet M1 (det operationelle system forud for den 1. juni 2005) parallelt med det nye operationelle system M2. Et mindre beregningskrævende tidligere operationelt prognosesystem M0, bestående af modellerne G45, D15 og D05 (D05 blev taget ud af drift ved udgangen af juni 2005), kører imidlertid fortsat parallelt med det operationelle system M2. Verificeringsresultaterne for T2m og RH2m fra M0 minder så meget om de tilsvarende verificeringsresultater fra M1, at det er rimeligt at antage, at en sammenligning af M0 og M2 kvalitativt giver samme resultat som en (hypotetisk) sammenligning af M1 og M2. En sammenligning af verificeringsresultater for prognosemodelsystemerne M0 og M2 præsenteres derfor i næste afsnit.



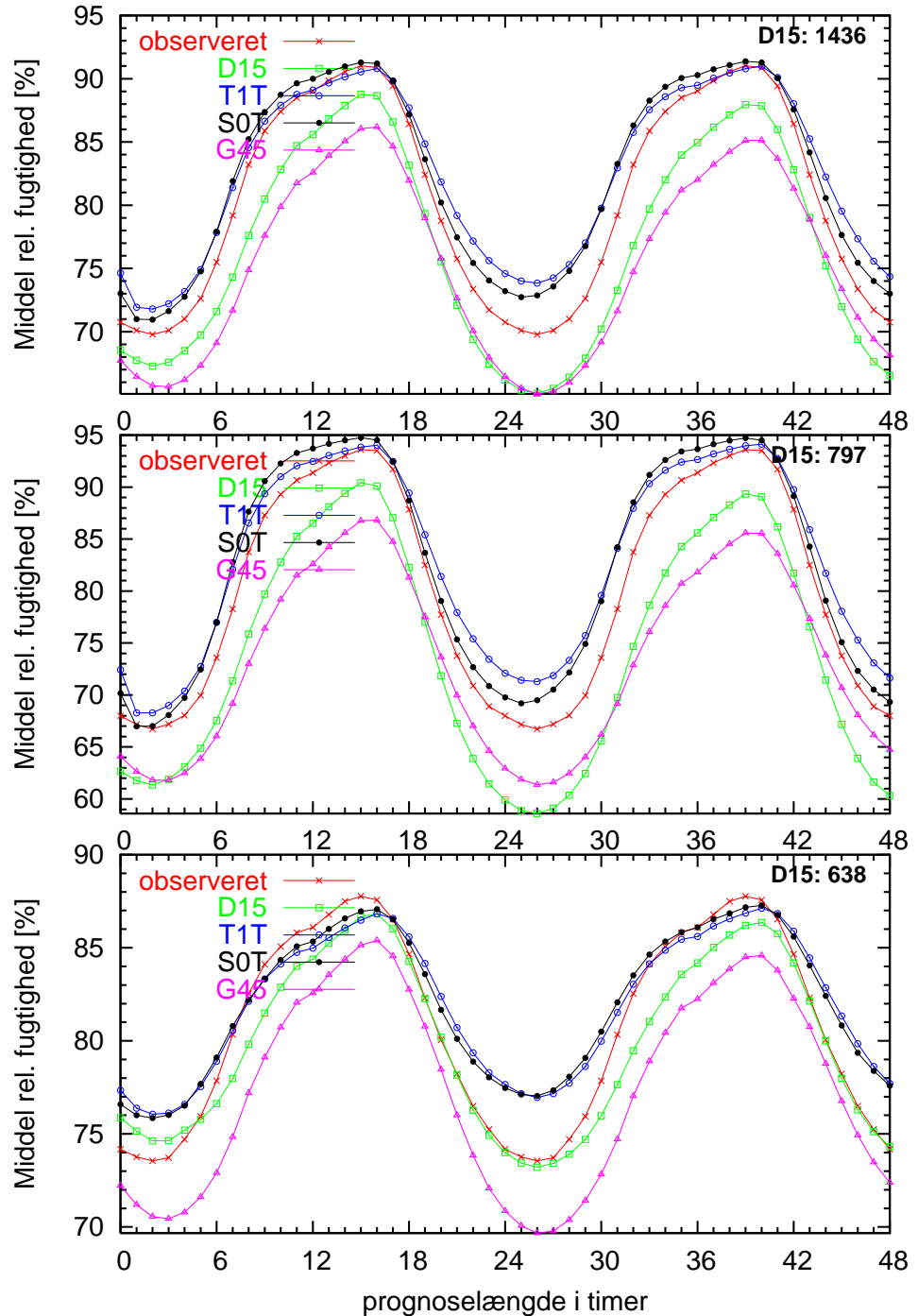
Figur 53. Verificering af prognoser for temperatur (T2m) og relativ fugtighed (RH2m) i 2 meters højde mod europæiske observationer i den såkaldte EWGLAM liste (øverste række) og mod danske observationer (nederste række) for perioden 1. til 26. maj 2005. Resultater for T2m og RH2m er vist i henholdsvis venstre og højre søjle. De øverste kurver på hver del figur viser den tilfældige fejl målt ved root mean square (rms) fejlen, og de nederste kurver viser middelfejlen. Resultaterne er i øverste række for den operationelle DMI-HIRLAM-T (T15) og en parallelt kørende eksperimentel version T1T, og resultaterne i den nederste række er for den operationelle S05 og den eksperimentelle S0T. De eksperimentelle versioner indeholder RH-ændringerne beskrevet i afsnit 3.11. Bemærk specielt at rms fejlen på RH (søjlen til højre) er mindre i de eksperimentelle versioner end i de operationelle. Temperaturen er i °C og RH i %.

3.11.9 Verificeringsresultater for RH2m for juli 2005

Figur 54 viser verificeringsresultater for RH2m i Danmark for juli 2005. Tilsvarende verificeringsresultater for sommeren (juni, juli og august) 2005 og 2006 er vist i Appendiks B. I figur 54 sammenlignes danske observationer af RH2m med tilsvarende prognoseværdier for prognoser, der alle har starttidspunkt 12 UTC (kl. 14 dansk sommertid). I sammenligningen har observation og prognose samme gyldighedstidspunkt, således at f.eks. 6 timers prognoser (31 i alt) sammenlignes med observationer fra 18 UTC (kl. 20 dansk sommertid). Observationerne er blevet opdelt i 3 grupper, henholdsvis

landobservationer, kystobservationer og land- plus kystobservationer. De 3 delfigurer i figur 10 viser fra top til bund verificeringsresultater for henholdsvis land- plus kyststationer, landstationer og kyststationer.

Døgnvariationen i både observationer og prognoser ses at være mindst for kyststationerne. For kyststationerne gælder, at amplituden i døgnvariationen er mindre i prognoserne end i observationerne. Dette gælder dog ikke for G45. I denne model er kystlinien på grund af den relativt store afstand (45 km) mellem gitterpunkterne ikke så skarp, som i de øvrige modeller. Figur 54 viser også, at RH2m prognoserne for landstationer er betydeligt tættere på de observerende værdier i T1T og S0T end i D15 og G45 (modelsystem M0). For kyststationerne er forskellen mindre, men i nattetimerne stadigvæk til fordel for T1T og S0T. Det er også bemærkelsesværdigt, at RH2m prognoserne næsten er lige så gode for døgn 2 som for døgn 1. Der er grund til at understrege, at verificeringsresultaterne varierer noget fra måned til måned og for samme måned også fra år til år formentlig primært på grund af måned til måned og år til år variationer i det fremherskende strømningmønster i atmosfæren over Europa.



Figur 54. Observeret (rød kurve med krydser) og forudsagt RH2m ved danske målestationer som funktion af prognoselængde i timer for prognoser med begyndelsestidspunkt 12UTC (kl. 14 dansk sommertid) for juli 2005. Resultater for alle stationer, landstationer og kyststationer vises i henholdsvis øverste, mellemste og nederste del figur. T1T og S0T er operationelle prognoser fra model system M2, sat i operationel drift den 1. juni 2005. G45 og D15 er prognoser fra et ældre model system M0, som kører parallelt med M2.

3.12 Nedskalering af DMI-HIRLAM prognoser til lokale prognoser

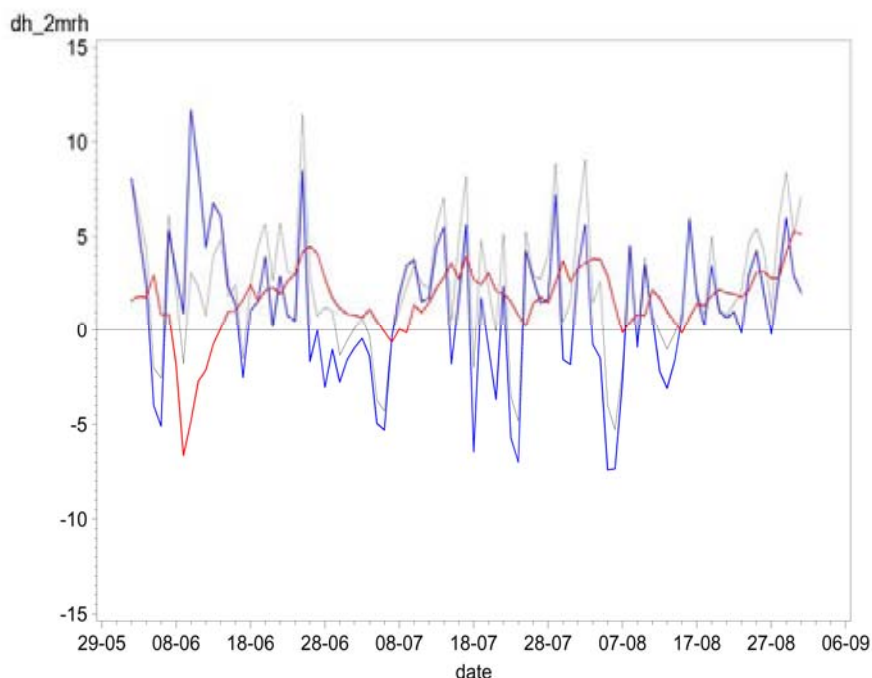
Metode for nedskalering er beskrevet i afsnit 2.13. Forsøgsmarkerne fremgår af afsnit 2.16.

Figur 55 til 60 viser, hvordan prognoserne for relativ luftfugtighed og temperatur har været i forhold til de observerede værdier ved de tre

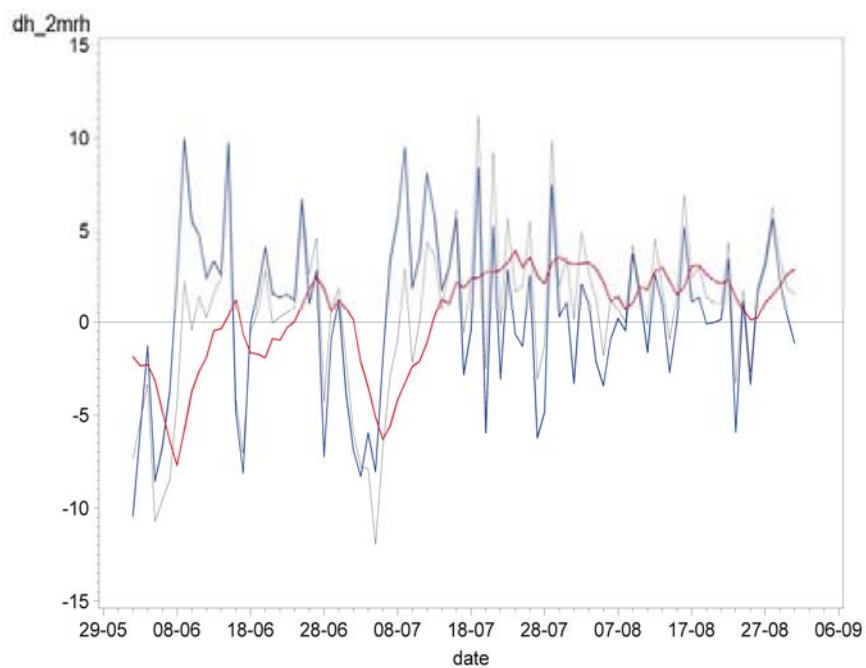
vejrstationer i perioden 1. juli til 31. august 2006. I hver figur viser den sorte kurve afvigelsen mellem HIRLAM prognosen og observationerne, den blå kurve viser afvigelsen mellem den kalibrerede prognose og observationerne, og den røde kurve viser korrektionsværdierne til kalibreringen. Der er i alle tilfælde tale om gennemsnittet af timerne fra kl. 22 til kl. 8 næste morgen.

HIRLAM-prognosen for relativ luftfugtighed (figur 55 til 57) var gennemgående for høj, men med en meget stor variation. Kalibreringen har gennemgående formindsket prognosen for relativ luftfugtighed, dog uden det har haft den helt store forbedring til følge. Den manglende stabilitet i afvigelsen mellem HIRLAM-prognosen og observationerne har bevirket, at kalibreringen ikke har haft den ønskede effekt i større grad.

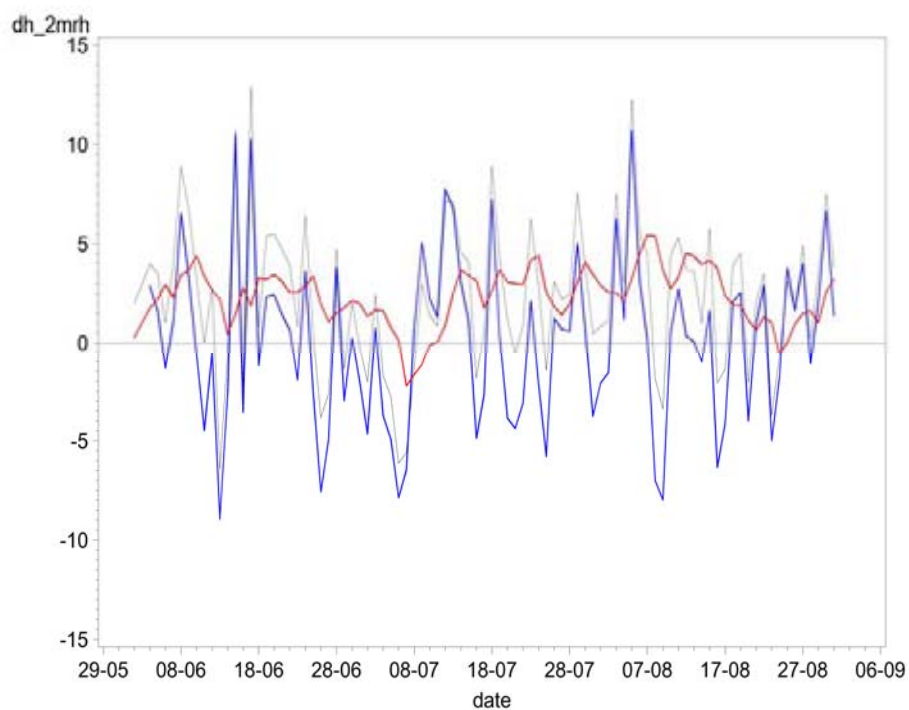
HIRLAM-prognosen for temperatur var på alle tre lokaliteter 1-2 grader for lav (figur 58 til 60). Denne afvigelse har været relativ stabil, og det ses af figurerne, at kalibreringen har haft en god effekt på prognosen for temperatur.



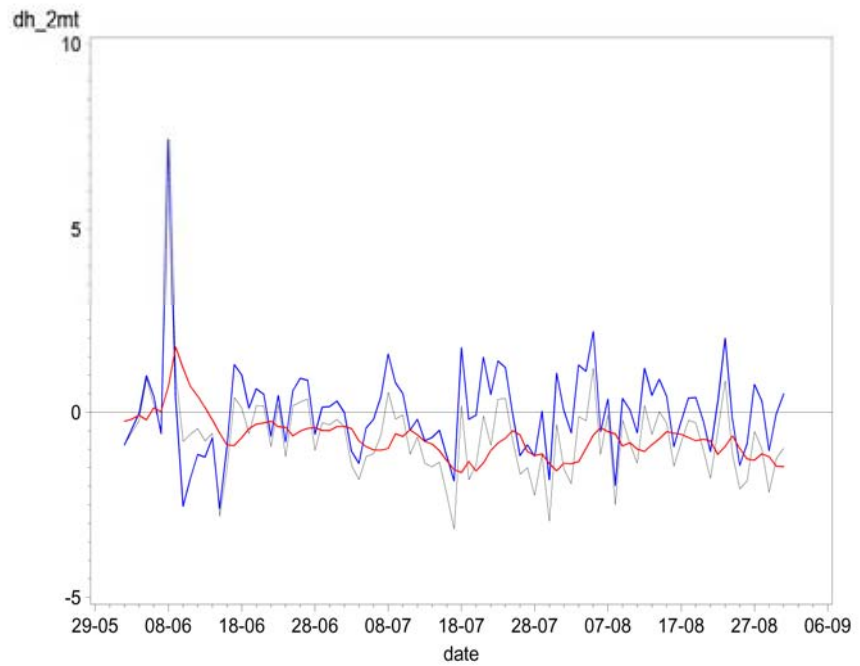
Figur 55. Afvigelse mellem observeret *RH* og henholdsvis DMI-HIRLAM prognose (sort) og kalibreret prognose (blå) samt korrektionsfaktorer til kalibrering (rød). Try (Hedegård) 2006.



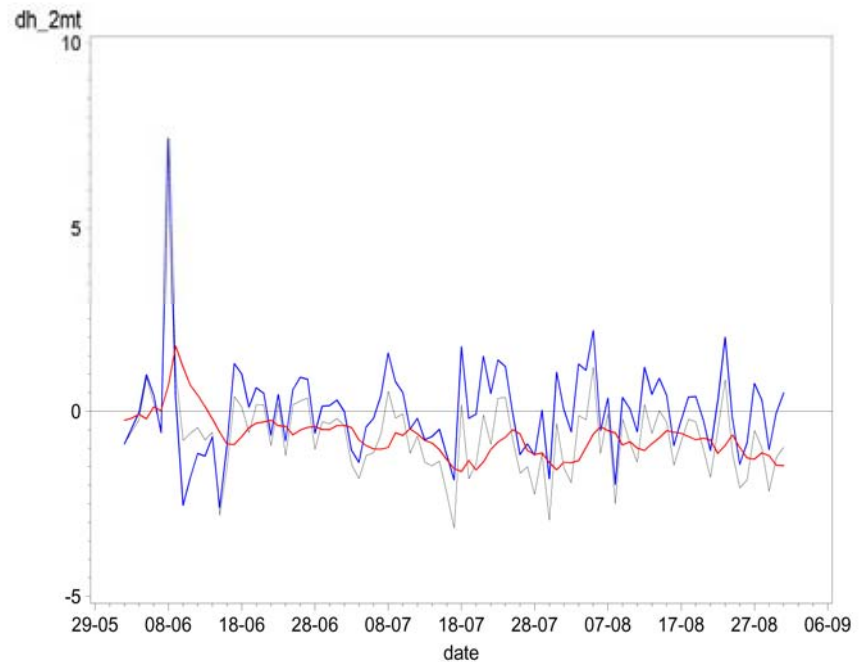
Figur 56. Afvigelse mellem observeret RH og henholdsvis DMI-HIRLAM prognose (sort) og kalibreret prognose (blå) samt korrektionsfaktorer til kalibrering (rød). Grove (Ytteborg) 2006.



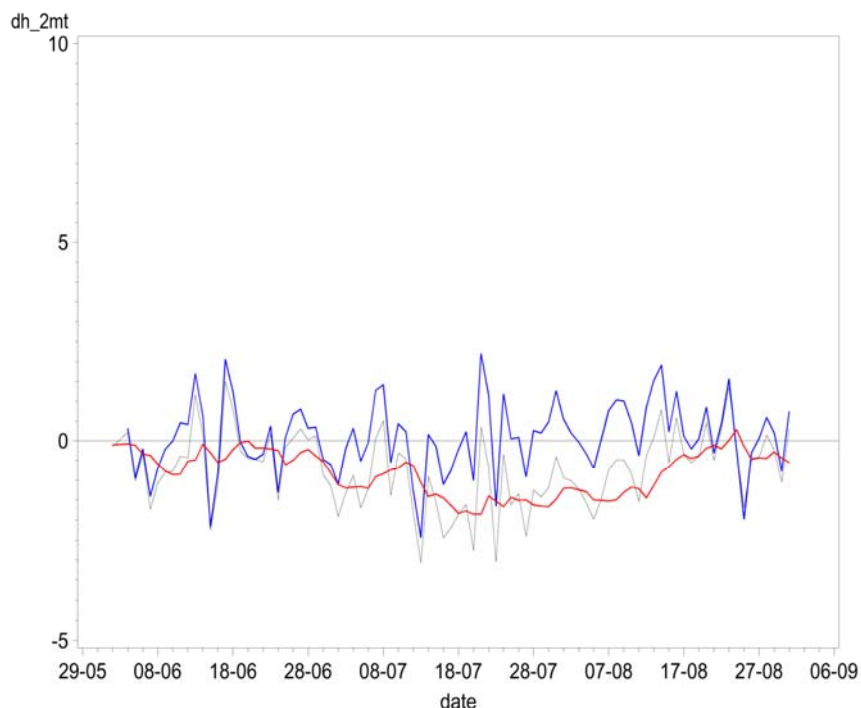
Figur 57. Afvigelse mellem observeret RH og henholdsvis DMI-HIRLAM prognose (sort) og kalibreret prognose (blå) samt korrektionsfaktorer til kalibrering (rød). Flakkebjerg 2006.



Figur 58. Afvigelse mellem observeret *temperatur* og henholdsvis DMI-HIRLAM prognose (sort) og kalibreret prognose (blå) samt korrektionsfaktorer til kalibrering (rød). Try (Hedegård) 2006.



Figur 59. Afvigelse mellem observeret *temperatur* og henholdsvis DMI-HIRLAM prognose (sort) og kalibreret prognose (blå) samt korrektionsfaktorer til kalibrering. (rød). Grove (Ytteborg) 2006.



Figur 60. Afvigelse mellem observeret *temperatur* og henholdsvis DMI-HIRLAM prognose (sort) og kalibreret prognose (blå) samt korrektionsfaktorer til kalibrering (rød). Flakkebjerg 2006.

Resultaterne af den statistiske analyse af prognoser for skimmelvejrsammenlignet med det observerede vejr ved vejrstationerne er vist i tabel 5-10.

Den positive prædiktive værdi, som udtrykker, hvor ofte faktisk forekommende dage med skimmelvejrs er forudsagt korrekt af prognosen, er 80-90% i HIRLAM-prognosen (venstre del af tabel 5-7). Den negative prædiktive værdi, som udtrykker, hvor ofte dage, der *ikke* har haft skimmelvejrs, er forudsagt korrekt, er 40-70%. Specificiteten, som udtrykker sikkerheden i forudsigelsen af fravær af skimmelvejrs, er 75-85%. Den forbedrede HIRLAM-prognose er dermed væsentligt bedre end tidligere prognoser undersøgt af Detlevsen (2003) og Hansen *et al.* (2003).

Den kalibrerede prognose (højre del af tabel 5-7) er med hensyn til den positive prædiktive værdi på niveau med eller lavere end HIRLAM-prognosen, og med hensyn til den negative prædiktive værdi på niveau med HIRLAM-prognosen. Kalibreringen har således ikke forbedret forudsigelsen af dage med skimmelvejrs eller dage uden skimmelvejrs på de tre lokaliteter, der er undersøgt i dette projekt. Årsagen hertil er, at der ikke har været en tilstrækkelig stor og stabil systematisk afvigelse mellem HIRLAM-prognosen og det observerede vejr.

Nøjagtigheden af prognoser to dage frem er kun lidt lavere end nøjagtigheden af prognoser en dag frem.

Den negative prædiktive værdi, som udtrykker, hvor ofte dage, der *ikke* har haft skimmelvejrs, er forudsagt korrekt, er 40-70%. Specificiteten, som udtrykker sikkerheden i forudsigelsen af fravær af skimmelvejrs, er 75-85%.

Der er dermed relativt få sikre perioder, der bliver detekteret af prognosen, men forudsigelsen er rimelig sikker.

Den kalibrerede prognose er med hensyn til den positive prædiktive værdi generelt lavere end HIRLAM-prognosen, hvilket indikerer, at kalibreringen ikke har forbedret forudsigelsen af dage med skimmelvejr.

Nøjagtigheden af prognoser to dage frem er kun lidt lavere end nøjagtigheden af prognoser en dag frem.

Tabel 5. Observeret skimmelvejr vs. prædikteret skimmelvejr ved henholdsvis HIRLAM-I og kalibreret prognose 1 dag frem. Hedegård. 2006, %.

Observeret skimmelvejr	HIRLAM-prognose		Observeret skimmelvejr	Kalibreret prognose	
	Sand	Falsk		Sand	Falsk
Positiv	42	10	Positiv	51	16
Negativ	26	22	Negativ	18	16
Sensitivitet			74		
Specificitet			50		
Positiv prædiktiv værdi			76		

Tabel 6. Observeret skimmelvejr vs. prædikteret skimmelvejr ved henholdsvis HIRLAM- og kalibreret prognose 1 dag frem. Ytteborg. 2006, %.

Observeret skimmelvejr	HIRLAM-prognose		Observeret skimmelvejr	Kalibreret prognose	
	Sand	Falsk		Sand	Falsk
Positiv	54	5	Positiv	57	4
Negativ	19	22	Negativ	16	23
Sensitivitet			79		
Specificitet			85		
Positiv prædiktiv værdi			93		

Tabel 7. Observeret skimmelvejr vs. prædikteret skimmelvejr ved henholdsvis HIRLAM- og kalibreret prognose 1 dag frem. Flakkebjerg. 2006, %.

Observeret skimmelvejr	HIRLAM- prognose		Observeret skimmelvejr	Kalibreret prognose	
	Sand	Falsk		Sand	Falsk
Positiv	26	6	Positiv	31	14
Negativ	19	49	Negativ	14	40
Sensitivitet			69		
Specificitet			74		
Positiv prædiktiv værdi			69		

Tabel 8. Observeret skimmelvejr vs. prædikeret skimmelvejr ved henholdsvis HIRLAM- og kalibreret prognose 2 dage frem. Hedegård. 2006, %.

Observeret skimmelvejr	HIRLAM- prognose		Observeret skimmelvejr	Kalibreret prognose	
	Sand	Falsk		Sand	Falsk
Positiv	44	8	Positiv	51	14
Negativ	26	22	Negativ	18	15
Sensitivitet			74		
Specifцитet			53		
Positiv prædiktiv værdi			78		

Tabel 9. Observeret skimmelvejr vs. prædikeret skimmelvejr ved henholdsvis HIRLAM- og kalibreret prognose 2 dage frem. Ytteborg. 2006, %.

Observeret skimmelvejr	HIRLAM- prognose		Observeret skimmelvejr	Kalibreret prognose	
	Sand	Falsk		Sand	Falsk
Positiv	51	7	Positiv	56	7
Negativ	23	19	Negativ	18	19
Sensitivitet			76		
Specifцитet			73		
Positiv prædiktiv værdi			89		

Tabel 10. Observeret skimmelvejr vs. prædikeret skimmelvejr ved henholdsvis HIRLAM- og kalibreret prognose 2 dage frem. Flakkebjerg. 2006, %.

Observeret skimmelvejr	HIRLAM- prognose		Observeret skimmelvejr	Kalibreret prognose	
	Sand	Falsk		Sand	Falsk
Positiv	28	9	Positiv	34	16
Negativ	19	44	Negativ	13	37
Sensitivitet			72		
Specifцитet			69		
Positiv prædiktiv værdi			67		

3.13 Validering af modeller og beslutningsstøtte i markforsøg

Resultaterne fra markforsøgene med BM på de tre lokaliteter i 2005 og 2006 fremgår af tabellerne 11 til 16. Forsøgene er beskrevet i afsnit 2.16. Forsøgsresultaterne er opgjort pr. år, da kun to af modellerne er sammenlignelige i de to år.

I 2005 viste forsøget i Grove, at der kunne spares i gennemsnit to BI (behandlingsindeks) i både den modtagelige og mere resistente sort, når der ikke forekom skimmel af betydning. Hvordan situationen havde set ud, hvis der havde været skimmel er uvis. I Try forekom der lidt skimmel og her kunne der kun spares omkring 0,5 BI i den modtagelige sort, og 1-2 BI i den mere resistente sort Kuras (tabel 11). I forsøget ved Flakkebjerg var der betydeligt mere skimmel men her opstod desværre en fejlmåling af RH på 2% (jævnfør Appendiks G). Dette medførte, at der var væsentlig mere kartoffelskimmel i sorterne Saturna og Kuras sidst på sæsonen for BM2 og BM3 i forhold til en rutinestrategi. Hvor der blev anvendt METOS klimastation i BM1 virkede luftfugtighedssensoren ligeledes ikke tilfredsstillende, hvilket medførte at de fleste behandlinger var udført med samme dosering som ved rutinebehandling. Forsøgene i Flakkebjerg i 2005 kan derfor ikke sige noget om systemernes anvendelighed ved høje smittetryk. Der var i 2005 ikke forskel i knoldudbyttet ved anvendelse af de forskellige beslutningsstøttemodeller sammenlignet med anvendelse af en rutinestrategi (tabel 13). I forsøget ved Try var der en sikker forskel i udbyttet i Kuras ved anvendelse af BM1 og BM3. Denne forskel er dog ikke mulig at forklare ud fra skimmelangrebene.

I 2006 blev kartoffelskimmelen registreret senere end normalt men udviklede sig usædvanligt hurtigt i august som følge af en kombination af kraftig nedbør, høje nattemperaturer (jævnfør afsnit 3.1) samt en reduceret effekt af svampemidlet Shirlan i Flakkebjerg. Trods en nedvisning af de ubehandlede parceller var smittetrykket meget højt i forsøgsarealerne ved Try og Flakkebjerg, hvilket førte til høje skimmelangreb i forsøgene, selv ved ugentlige behandlinger med 0,3 liter Shirlan pr. ha (tabel 12). I Grove var der et lille smittetryk, og her kunne man se en besparelse i BI på 0,5-1,5 ved brug af BM1-2 afhængig af sort. I Try var der et stort smittetryk og ingen besparelse i BI ved brug af beslutningsmodellerne i forhold til en ugentlig behandling med 0,3 liter Shirlan (tabel 12), som det blev set i 2005 (tabel 11). I den mest resistente sort Kuras burde man forvente en større reduktion i behandlingsindeks ved anvendelse af beslutningsstøttesystemer, der kombinerer resistens og variable doser af svampemiddel. I Flakkebjerg i 2006 var der et meget højt smittetryk og angreb i marken. Der blev således registreret omkring 70% skimmel i Saturna i august og 50% skimmel i Kuras i september. Ved disse høje smittetryk var der ingen forskel i angrebet trods en reduktion i BI på 1-1,5 ved anvendelse af beslutningsstøttemodeller.

På grund af det usædvanlige skimmelfavorable vejr sidst på sæsonen blev der i 2006 generelt anvendt højere doser af Shirlan i BM i denne periode end ved rutinestrategien, hvilket opvejer de besparelser i behandlingsindeks, der er opnået ved de reducerede doser først på sæsonen. Ved Flakkebjerg havde det hollandske system Plant Plus ligeledes svært ved at anbefale en bekæmpelsesstrategi, der kunne holde skimmelen under kontrol (tabel 12). Der var i 2006 store udbytteforskelle i forsøgene, men ingen signifikante forskelle mellem de forskellige strategier (tabel 14).

Tabel 11. Antal let af behandlinger, behandlingsindeks samt forekomst af skimmel ved brug af forskellige beslutningsstøttemodeller i 2005.

	Grove			Try			Flakkebjerg		
	antal beh.	BI ¹⁾	pct. skimmel	antal beh.	BI ¹⁾	pct. skimmel	antal beh.	BI ¹⁾	pct. skimmel
<i>Saturna</i>			11/8			22/8			6/9
1. Rutine, 7 d. interval	8	6,0	0	10	7,5	2	13	9,8	3
2. BM1 ¹⁾	7	3,3	0	10	6,8	4	12	10,8	3
3. BM2	7	2,5	0	10	7,0	3	11	6,0	11
4. BM3	9	4,3	0	9	7,0	3	9	5,3	19
<i>LSD</i>									10,1
<i>Kuras</i>			14/9			8/9			15/9
1. Rutine, 7 d. interval	13	9,8	1	13	9,8	3	12	9,0	1
2. BM1	12	7,5	1	13	8,0	2	10	7,9	1
3. BM2	12	5,0	2	13	8,3	3	9	4,9	4
4. BM3	14	7,3	1	10	7,3	3	7	4,1	7
<i>LSD</i>									3,7

¹⁾ BI = behandlingsindeks

Tabel 12. Antallet af behandlinger, behandlingsindeks samt forekomst af skimmel ved brug af forskellige beslutningsstøttemodeler i 2006.

	Grove			Try			Flakkebjerg		
	antal beh.	BI ¹⁾	pct. skimmel	antal beh.	BI ¹⁾	pct. skimmel	antal beh.	BI ¹⁾	pct. skimmel
<i>Saturna</i>	<i>23/8</i>			<i>25/8</i>			<i>22/8</i>		
1. Rutine, 7 d. interval	7	5,5	0	8	6,3	5	9	6,8	76
2. BM1	6	5,0	0	8	6,8	4	7	5,3	76
3. BM2	7	4,3	0	8	6,5	2	7	5,0	74
4. BM4	7	5,8	0	8	6,8	4	9	7,0	61
5. Plant Plus	-	-	-	-	-	-	5	7,0	83
<i>LSD</i>									
<i>Kuras</i>	<i>30/8</i>			<i>1/9</i>			<i>27/9</i>		
1. Rutine, 7 d. interval	11	8,5	0,8	9	7,0	46	14	10,5	58
2. BM1	10	7,3	0,9	9	7,0	35	12	9,0	51
3. BM2	11	7,0	2	9	6,5	41	12	8,8	50
4. BM4	11	8,3	0,8	9	7,0	35	14	10,3	56
5. Plant Plus	-	-	-	-	-	-	8	10,8	30
<i>LSD</i>									

¹⁾ BI = behandlingsindeks

Tabel 13. Udbytte ved brug af forskellige beslutningsstøttemodeler i 2005.

	Saturna			Kuras			Gennemsnit
	Grove	Try	Flakkebjerg	Grove	Try	Flakkebjerg	
	Udbytte og merudbytte, hkg knolde pr. ha						
<i>2005</i>							
1. Rutine, 7 d. interval	430	493	555	605	529	584	514
2. BM1, klimastation	-16	-12	-19	-7	13	-14	-6
3. BM2, grid-data	-23	-21	-20	-5	3	-9	-11
4. BM3, prognose	-3	4	-25	20	-19	-18	0
<i>LSD</i>	<i>ns</i>	<i>18</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>17</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>

Tabel 14. Udbytte ved brug af forskellige beslutningsstøttemodeler i 2006.

	Saturna			Kuras			Gennemsnit
	Grove	Try	Flakkebjerg	Grove	Try	Flakkebjerg	
	Udbytte og merudbytte, hkg knolde pr. ha						
<i>2006</i>							
1. Rutine, 7 d. interval	415	513	316	532	655	578	501
2. BM1, klimastation	35	-17	-9	-5	38	5	8
3. BM2, grid-data	21	-42	5	24	21	27	9
4. BM4, prognose	16	-8	17	-11	36	26	13
5. Plant Plus	-	-	-11	-	-	31	-
<i>LSD</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>

I forsøgene er der også bedømt knoldskimmel (tabel 15-16). På grund af gode høstbetingelser i 2005 med varmt og tørt vejr i hele høstperioden blev der kun registreret lidt knoldskimmel i de høstede kartofler og ingen forskelle mellem

behandlingerne i forsøgene (tabel 15). I 2006 var det mere fugtigt og varmt sidst på sæsonen og ved optagning, hvilket resulterede i et højere angreb af knoldskimmel. Der var dog ingen forskel mellem de enkelte modeller (tabel 16).

Tabel 15. Forekomst af knoldskimmel ved brug af forskellige beslutningsstøttemodeller i 2005.

	Saturna			Kuras			Gen-nem-snit
	Grove	Try	Flakke-bjerg	Grove	Try	Flakke-bjerg	
	pct. knolde med kartoffelskimmel						
1. Rutine, 7 d. interval	0	0	0	0	0	1	0
2. BM, klimastation	0	0	0	0	0	0	0
3. BM, grid-data	0	0	1	0	0	0	0
4. BM, prognose	0	0	1	0	0	1	0
<i>LSD</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>

Tabel 16. Forekomst af knoldskimmel ved brug af forskellige beslutningsstøttemodeller i 2006.

	Saturna			Kuras			Gen-nem-snit
	Grove	Try	Flakke-bjerg	Grove	Try	Flakke-bjerg	
	pct. knolde med kartoffelskimmel						
1. Rutine, 7 d. interval	0	2,5	2,3	0,3	0	7,5	2,1
2. BM, klimastation	0	1,5	2,0	0,8	0,8	7,8	2,2
3. BM, grid-data	0	2,5	2,0	1,0	1,5	7,5	2,4
4. BM, prognose	0	2,3	1,8	0	0,5	11,5	2,7
5. Plant Plus	-	-	1,8	-	-	6,5	-
<i>LSD</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>

4 Diskussion

Der har i de seneste år været et øget forbrug af fungicider i kartofler. I gennemsnit sprøjter kartoffelavleren sin afgrøde 7-9 gange (2005-2006) mod 4-5 gange i 1992. Årsagerne til det stigende forbrug af fungicider i Danmark er ikke dokumenteret, men tre væsentlige forhold kan nævnes som medvirkende årsager. Vi har haft meget skimmelfavorable år, som har forårsaget alvorlige angreb selv hos avlere, som behandlede forebyggende med fungicider. Der har desuden været klare indikationer på tidlige angreb betinget af jordsmitte (oosporer) enkelte år siden 1997 – senest i 2005 (Hansen *et al.*, 2006). Tidligere kunne man vente med start af fungicidbehandling eller starte med nedsat dosis i de mere resistente stivelsessorter. Nu registreres der også meget tidlige angreb i disse sorter. Sammenhængen mellem tidlige angreb baseret på oosporer er undersøgt i både Sverige (Anderson *et al.*, 2007; Widmark *et al.*, 2007 og i Finland (Lehtinen & Hannukkala, 2004). I Finland har man dokumenteret at dette alene har betydet et øget fungicidforbrug (Hannukkala *et al.*, 2007). Det må antages, at tilsvarende er gældende i Danmark. Introduktionen af kønnet formering har betydet, at der nu er en stor variation i fænotypiske og genotypiske egenskaber af populationer af *P. infestans* i Norden (Lehtinen *et al.*, 2007; Lehtinen, 2008). En væsentlig motivation for at starte nærværende projekt var derfor at undersøge vejrets betydning for de basale biologiske processer i form af produktion af sporangier, spredning og infektion under markforhold. Derudover at undersøge om eksisterende modeller for skimmelvejr stadig er gældende, eller om der var behov for forbedringer eller udvikling af nye.

4.1 Sporangiedannelse (sporulering)

Sporangiedannelsen blev målt dagligt gennem sæsonen i både 2005 og 2006. I begyndelsen af epidemien i 2005 blev der udtaget blade fra både top og bund af afgrøden for at undersøge, om forskelle i mikroklimaet betingede en eventuel forskel i produktion og overlevelse af sporangier. Denne forskel viste sig ikke at være statistisk sikker (figur 18). I 2005 blev infektionsdygtigheden af sporangier i læsioner målt over døgnet. Resultaterne viste, at infektionsevnen og det faktiske antal infektionsdygtige sporangier var lavest mellem ca. kl. 12-20. Da tallene er relative, er det uvist om sporangierne mistede deres infektionsevne midlertidigt under udtørring i løbet af dagen, eller om de faktisk mistede den, og at stigningen om natten var betinget af, at der blev dannet nye sporangier (figur 20).

I begge år blev der kunstigt smittet med skimmel fra sidst i juni. I 2005 udviklede der sig et kraftigt angreb allerede fra begyndelsen af juli (figur 13), mens der i 2006 først kom gang i angrebet fra slutningen af juli efter en meget tør juli måned (figur 14). I 2006 kunne der selv i den tørre juli måned konstateres infektionsdygtige sporangier, men i lavt tal og kun på de planter, som var kunstigt smittet (figur 16). Selvom der blev udsat fangplanter i hele juli måned, var der ikke én dag med læsioner på disse planter. Først da regnen kom, blev læsionerne aktiveret, og fangplanter blev inficeret (figur 27).

Starten af den epidemiske udvikling var i 2006 sammenfaldende med målinger af relativt høje antal sporangier/cm² (figur 17a) og samtidig en relativ stor andel infektionsdygtige sporangier i sidste uge af juli (figur 17b). Nedbør den 21. juli var medvirkende til at sætte liv i svagt aktive læsioner, og indtræden af fugtigt og varmt vejr fra den 28. juli startede epidemien for alvor (figur 30-32).

Det er tidligere vist, at sporangiedannelsen hos kartoffelskimmel sker efter ca. 10 sammenhængende timer med høj luftfugtighed. Hastigheden af sporangiedannelsen er afhængig af temperaturen i den fugtige periode (Harrison, 1995), og det antages, at sporangiedannelsen er meget langsom ved temperaturer under 10°C, hvilket er bekræftet i nye undersøgelser (Andrada-Piedro *et al.*, 2005; Hansen *et al.*, 2006). I juli måned, 2006, var minimumstemperaturen i alle dage over 10°C, og den begrænsende faktor for sporangiedannelse var fraværet af længere perioder om natten med høj luftfugtighed.

Betydningen af høj luftfugtighed for sporedannelsen fremgår også af projektets analyse af sammenhæng mellem forskellige vejrforhold og sporedannelse, som beskrevet i afsnit 3.9. Analysen tyder på, at sporulering og dermed antal sporer, der potentielt kan spredes, er højere jo højere luft- eller bladfugtigheden har været i en 3 timers forudgående tidsperiode. Samme analyse viser også, at den forudgående dags solindstråling påvirker dannelsen af sporer i den efterfølgende tidsperiode.

4.1.1 Sporangiefrigørelse og spredning

Resultaterne fra mange undersøgelser viser, at sporangierne typisk frigøres i morgentimerne, når der sker et markant fald i luftfugtigheden (Hirst, 1958; Schlenzig *et al.*, 1998; Aylor *et al.*, 2001; Hansen, 2002). Teorien er, at sporangierne frigøres ved de hygroskopiske vridninger af sporangiebærerne, som sker ved kraftige ændringer i luftfugtigheden (Hirst, 1953). Sporangiedannelsen sker om natten, fordi processen begrænses af lyset (Cohen *et al.*, 1975). Dette fænomen kendes også fra f.eks. skimmel i salat (Nordskog *et al.*, 2007). Spredning af sporangier i morgentimerne er helt tydeligt eftervist med projektets resultater (se f.eks. figur 24 og 32). Den statistiske analyse for sammenhænge mellem vejrvariable og fangster af sporangier i en Burkard fælde (afsnit 3.9) viste, at antal timer med bladfugt og relativ luftfugtighed havde den højeste forklaringsværdi for antallet af sporangier, som blev fanget. Ifølge resultaterne af korrelationerne blev der spredt flere sporangier jo fugtigere vejrtilstandene i de forudgående timer havde været, og jo stærkere fugtigheden bagefter var faldet. De opnåede korrelationer var signifikante, men korrelationskoefficienterne var relativt lave (0,3 – 0,4). Det betyder, at der faktisk er en sammenhæng, mellem de undersøgte variable og sporangiedannelsen, men at det kun er en mindre del (30-40 %) af forklaringen. Samlet må man antage, at antal sporangier, der spredes i marken, er styret af komplicerede sammenhænge mellem vejrtilstande og aktivt sporangieproducerende bladvæv.

De biologiske mekanismer, som foregår med hensyn til frigørelse af sporangier og infektion, er også komplicerede. Resultaterne fra Flakkebjerg viser eksempelvis, at sporangierne kan blive siddende i læsionerne i overskyet vejr, og først frigøres, næste gang forholdene er gunstige for frigivelse (brat fald i luftfugtigheden), jf. afsnit 3.3-3.4. Denne mekanisme er også rapporteret af Bashi *et al.* (1982). Det betyder, at det er vanskeligt at lave en dag til dag analyse af sammenhængen mellem beregninger af skimmelvejr og fangst af

sporangier. I ovennævnte eksempel vil der fanges ingen eller få sporangier på den dag, hvor der beregnes en meget høj risiko for sporangiedannelse. Til gengæld kan sporangier spredes på en solrig dag, hvor der ikke havde været risiko for sporangiedannelse selv samme nat, men hvor sporangier er opbygget over flere dage. Dette fænomen er også diskuteret og omtalt som "forsinket sporangiefrigørelse" af Hansen (2002).

Tidligere beregnede vi skimmelvejrr på dagligt niveau (HSPO i afsnit 2.8). Som en konsekvens af påvisningen af "forsinket sporangiefrigørelse" har vi introduceret begrebet infektionstryk, som er en sum af HSPO over 5 dage, som inkluderer dags dato samt 2 dage bagud og 2 dage fremad i tid. Denne metode samler op på sporangier som kan være produceret for 1-2 dage siden samt sporangieproduktionen i dag og de kommende 48 timer.

Det beregnede infektionstryk baseret på summen af sporuleringsbetingelser (HSPO) over flere dage blev anvendt som grundlag for anvisning af bekæmpelse i beslutningsstøttesystemet Blight Management, som beskrevet i afsnit 2.14.

Da sporespredningen oftest foregår i morgen- og formiddagstimerne, vil det alt andet lige være muligt at forbedre virkningen af sprøjtningen ved at starte så tidligt på dagen som muligt ved udsigt til "skimmelvejrr".

4.1.2 Overlevelse af sporangier

I litteraturen er der nogen uenighed om betingelserne for overlevelse af sporangier (Minogue & Fry, 1981; Harrison, 1992; Harrison, 1995; Fry & Mizubuti, 1998). Sporangier udtørres og mister deres levedygtighed (infektionsevne) i løbet af få timer ved høje temperaturer (> ca. 20°C) og lav luftfugtighed (< ca. 90%). Sporangierne dræbes også af ultraviolet stråling (Harrison, 1992). Mizubuti *et al.* (2000) fandt, at UV stråling var den mest betydende faktor for reduktionen i overlevelsessevnen af sporangier sammenlignet med temperatur og luftfugtighed. I en anden undersøgelse blev overlevelsessevnen af sporangier, som var dannet naturligt i marken målt. Under eksponering for direkte stråling på en solrig dag faldt overlevelsessevnen af sporangierne fra ca. 70% til 0,3% indenfor en time. Under overskyet vejr var overlevelsessevnen af sporangierne konstant i mindst 3 timer efter eksponering for naturlig stråling fra solen (Fry & Mizubuti, 1998). Under konstant høj luftfugtighed (>90%) og lav solstråling kan sporangierne sandsynligvis overleve mere end 1 dag (Harrison, 1992; Harrison, 1995).

I tidligere undersøgelser ved Flakkebjerg blev der fanget sporangier næsten hver dag gennem hele sæsonen og også på dage, hvor der ikke var beregnet en risiko for sporangiedannelse (Bay *et al.*, 2003). Der blev stillet spørgsmålstegn ved, om de lave sporangiefangster, der blev fanget ind imellem højrisikoperioder for sporangiedannelse, var "baggrundsstøj" af døde sporangier, og det blev diskuteret, hvornår der reelt set er de mest gunstige betingelser for infektion. Ved at kombinere anvendelsen af fangplanter og ved at inddrage en model for overlevelse af sporangier baseret på stråling fra solen (afsnit 3.7) bekræfter nærværende undersøgelse, at sandsynligheden for overlevelse af sporangier på en solrig dag er meget lille. Dette blev antaget, men ikke bevist af Rucksthul (1999) og Schlenzig *et al.* (1998).

Selvom fangplanter blev udsat ved Flakkebjerg i feltet hver eneste dag i hele juli 2006, og der var levende sporangier i læsioner på planter i feltet (figur 16), var det først i sidste uge af juli, at de første fangplanter blev inficeret

(figur 27). Modellen, som kombinerer beregning af infektionstryk og overlevelsesrate, viste ingen til meget lav risiko for levende sporangier i hele juli lige indtil sidste uge af juli (figur 37), hvor der skete et vejromskifte, sygdomsudviklingen i Bintje startede (figur 26), og de første infektioner på fangplanterne blev registreret i Bintje (figur 27).

Fry & Mizibuti (1998) undrede sig over, hvorfor sporangier spredtes op i luften under vejrforhold, hvor de kun har en meget ringe chance for at overleve og inficere. Hansen (2002) diskuterede dette og foreslog, at infektioner jævnlige sker om morgenen ved overlap mellem enkelte tilbageværende dugdråber og start af sporangiefrigørelsen. Denne hypotese bekræftes af data i denne undersøgelse f.eks. 29. juli til 1. august i Bintje og 3. august, 6. august og 17. august i Oleva (afsnit 3.6, f.eks. figur 30-34).

På basis af data for global stråling er der på baggrund af projektets data beregnet den daglige overlevelsesrate fra den 14. juni til den 12. september, jf. metodeafsnit 2.9. I juli måned var overlevelsesraten generelt meget lav (figur 29). Der er fire perioder med relativt høj overlevelsesrate, den 24. juli, 28.-29. juli, 2. august og 11.-15. august.

I forbindelse med perioder for høj overlevelsesrate - den 24. juli, 28.-29. juli, 2. august og 11.-15. august - blev der registreret en relativ stor infektionsevne af sporangier i læsionerne og samtidig en øget mængde sporangier i læsionerne over de efterfølgende 2-3 dage. Dermed har overlevelsesraten en god prædiktiv værdi med hensyn til bekæmpelse, som beskrevet i afsnit 3.5.

Hvis man multiplicerer de daglige sporangiefangster med overlevelsesraten, giver dette et groft mål for antal levedygtige sporangier, som måske kan overleve mere end nogle få timer (afsnit 3.7). Overlevelsesrate * sporangier ser ud til at være en god indikator for risikoen for infektioner. Overlevelsesraten kan beregnes alene med data for globalstråling (inklusive vejrprognose for globalstråling), men data for sporangiefangster er ikke tilgængelige for operationel beslutningsstøtte. Baseret på resultaterne i denne rapport synes HSPO at være en rimelig robust parameter for skimmelrisiko, og specielt hvis risikoen for skimmel aktivitet præsenteres som et 5 dages summeret infektionstryk.

Betydningen af sporangiernes overlevelse blev først klarlagt i 2006 med anvendelsen af fangplanterne. Resultaterne indgår derfor ikke i den testede version af Blight Management. Det justerede infektionstryk ($HSPO * \text{overlevelsesrate}$) bør implementeres i Blight Management og testes i nye forsøg.

Beregningen af infektionstryk vil primært være gældende for spredningen af sporangier mellem marker og mellem regioner (sporangier kan spredes 20-30 km og stadig være infektionsdygtige). For den lokale spredning i en inficeret mark gælder yderligere spredning med regnplask og plante til plante spredning, som det bl.a. blev vist i markforsøgene i 2005 (figur 47). Vanding eller regn kan forårsage afvaskning af fungiciderne (Bødker & Nielsen, 2003), men også en lokal spredning af kartoffelskimmel i marken, som vist i projektet.

4.1.3 Anvendelse af vejrdata

I projektet er der anvendt vejrdata målt i 2 m højde (makroklima) enten ved DMI stationer eller ved lokale vejrstationer af typen METOS. Der blev anvendt data fra 2 m højde af tre årsager: 1: Fordi data fra mikroklimaet

(målinger inde i afgrøden) ikke måles som standard i Danmark. En model skal anvendes i praksis med den samme type data, som den er udviklet med. 2: Fordi mikroklimaet varierer betydeligt inden for den enkelte mark. Det kan være vanskeligt at vurdere hvor, der skal måles og hvor mange steder for at dække variationen i marken. 3: Schrödter (1983) påpegede, at anvendelsen af standard meteorologiske data til sygdomsmodeller i mange tilfælde var acceptabel. Et af argumenterne var, at de fleste svampesygdomme favoriseres af de vejrforhold, hvor forskellen mellem mikro- og makroklima antages at være minimal f.eks. i fugtige perioder om natten og i perioder med nedbør. Dette er også gældende for kartoffelskimmel (Hansen, 1992). Samlet set er der langt større fordele ved at bruge makroklimadata i stedet for mikroklimadata. I løbet af en vækstsæson kan der fra enkelte vejrstationer forekomme "manglende data" på grund af f.eks. lynnedslag. Dette er en betydelig fejlkilde ved beregning af risiko for kartoffelskimmel, da risikoen vil beregnes til nul i disse perioder. I de fleste vejrbaseerede modeller i PlanteInfo anvendes derfor arealinterpolerede GRID data. Disse data er interpolerede data fra 5-7 omgivende vejrstationer. Hvis data mangler fra en eller få stationer, vil der alligevel forekomme data i serien baseret på målinger fra omgivende stationer. Dette vurderes at være bedre end manglende data.

I nærværende projekt blev de biologiske data fra Flakkebjerg sammenlignet med modelberegninger foretaget med anvendelse af henholdsvis GRID data for Flakkebjerg, Data fra DMI stationen ved Flakkebjerg og fra Metos vejrstationen ved Flakkebjerg. Generelt set var GRID data for relativ luftfugtighed 1-3 % lavere om natten end for lokale målinger. Det skyldes sandsynligvis, at (byge)regn og dugdannelse ofte er lokal om sommeren, således at nogle stationer, som indgår i interpoleringen ofte vil være lavere end andre stationer, og dermed trækker den arealbaserede værdi nedad. For sæsonen 2006 ved Flakkebjerg beregnede alle metoder risikoen for skimmeludvikling korrekt, når risikoen var henholdsvis meget stor (f.eks. 23.-24. juli og 28.-30. juli, 2006) og meget lille (det meste af juli 2006). Forskellen optrådte, når antallet af risikotimer med hensyn til RH var tæt på de ti timer, som er kravet for beregning af sporangiedannelse.

For at vurdere hvilken metode, der var mest korrekt, blev LB2004 simuleringsmodellen inddraget (afsnit 2.15 samt 3.8). I perioden den 2.-5. august blev der fanget mange sporangier, og fangplanterne blev inficeret i forsøget. Der blev ikke beregnet risiko for sporulering efter HSPO modellen med GRID data, men med Metos inklusive inddragelse af bladfugt måling. I dette tilfælde var det ikke bladfugt men RH, der var afgørende for forskellen. Da simuleringsmodellen ligeledes simulerede risiko for sporangiedannelse i denne periode, blev det konkluderet, at beregninger med lokale data fra METOS netop for denne periode gav en bedre sammenhæng til de biologiske data end med anvendelse af GRID data (Appendiks D).

Projektets undersøgelser har vist, at beregningen af skimmelvejrr kan forbedres ved at inddrage både RH, bladfugt og nedbør til at definere en fugtig time (mod tidligere kun RH). Under antagelse af at bladfugtmålingerne er pålidelige, begrænser dette risikoen for unøjagtige målinger af RH. I 2006 ved Flakkebjerg blev der registreret enkelte dage, hvor inddragelse af bladfugt gav beregning af sporangiedannelse, men ingen risiko, hvis der kun blev anvendt RH. På basis af resultaterne fra dette projekt anbefales det at lave en nærmere analyse, om tærsklen for RH med anvendelse af GRID data skal sænkes 1-2% point. Inddragelse af bladfugt og nedbør til fastlæggelse af fugtighed i en given time vil forbedre sikkerheden i beregning af skimmelvejrr. Disse data er

desværre ikke tilgængelige for GRID data. Derfor er der et potentiale i at overveje brugen af lokale vejrstationer i vigtige områder for kartoffelproduktion i Danmark.

I foråret 2005 blev der indkøbt og opstillet tre Metos vejrstationer i umiddelbar nærhed af forsøgsarealerne, Flakkebjerg, Grove (Ytteborg), og Try (LandboNord) (se afsnit 2.16). Det viste sig desværre i løbet af sommeren 2005, at stationerne var forsynet med utilstrækkeligt nøjagtige RH-sensorer, hvilket har medført, at målingerne i 2005 ikke har kunnet anvendes. RH-sensorerne blev udskiftet til en betydelig bedre kvalitet i foråret 2006, og målingerne i 2006 har været af en tilfredsstillende kvalitet. Ligeledes viste en kvalitetskontrol af DMI stationsdata fra Flakkebjerg, 2005, at RH var ”drevet” ca. 2% point nedad siden sidste kalibrering. Metos data har ikke kunnet anvendes til analyse af de biologiske data ved Flakkebjerg i 2005. DMI stationsdata ved Flakkebjerg blev opjusteret med 2 % point inden analyse af data. I test af Blight Management (afsnit 3.13) er resultaterne i 2005, hvor Metos indgår, usikre (2 ud af 4 forsøgsled). Usikkerheden med vejrdata i 2005 kombineret med, at der ikke blev indsamlet data med fangplanter i 2005 (men blev det i 2006), er årsagen til, at diskussion og konklusioner for det meste refererer til resultater fra 2006.

4.2 Forbedrede prognoser for relativ luftfugtighed

Produktion af nyt smitstof i form af sporangier er betinget af varmt og samtidig fugtigt vejr. Det er derfor en vigtig forudsætning for et effektivt beslutningsstøttesystem, at ændringer i temperaturen og den relative luftfugtighed kan forudsiges og dermed behovet for forebyggende behandling.

Tidligere undersøgelser viste, at temperaturen blev forudsagt med en acceptabel nøjagtighed, men at den relative luftfugtighed blev forudsagt 5-10% for lavt (Detlevsen, 2003).

På baggrund af projektets undersøgelser udviklede DMI i 2005 en forbedret model for prognose af relativ luftfugtighed (RH) i 2 m højde (afsnit 3.11). Modellen blev operationel den 1. juni 2005 efter omfattende tests, som dokumenterede mere nøjagtige forudsigelser af relativ luftfugtighed. Medio november 2005 blev en ny version af DMI-HIRLAM sat i operationel drift. Denne version indeholder bl.a. en mindre justering i beregning af skyer og nedbør. Med den nye justering forudsiges RH betydeligt bedre, men dog nu en anelse for højt i nat og morgentimerne.

Prognosen for relativ luftfugtighed er sammenlignet med det faktisk forekommende vejr målt med tre Metos vejrstationer ved forsøgsarealerne. De faktisk forekommende dage med skimmelvejr er forudsagt korrekt af prognosen i 80-90% af tilfældene. Dage, hvor der ikke har været skimmelvejr, er forudsagt korrekt i 40-70% af tilfældene (tabel 5-10). Dermed forudsiges der for mange dage med risiko, hvor det ikke blev det. I praksis er forbedringen betydelig. 1: Dels fordi prognosen er blevet mere nøjagtig. 2: For at undgå angreb er det bedre, at prognosen giver for mange skimmeldage end det modsatte. 3: Skimmelvejr bliver i Blight Management beregnet som infektionstryk – en glidende 5-dages sum af HSPO (dags dato, 2 dage tilbage og 2 dage frem). Dermed indgår groft set 3-3½ dage, som er målt og kun 1½-2 dage, som er baseret på prognose data. Dette minimerer i nogen grad betydning af en unøjagtig prognose for skimmelvejr.

DMI arbejder med at forbedre prognosen for temperatur yderligere inden vækstsæsonen 2008. Det må antages, at dette lykkes, og da RH beregnes med basis i bl.a. måling af luftens indhold af vanddamp og temperatur, forventes det, at prognosen for RH bliver mere nøjagtig. Yderligere forbedringer af prognosen for relativ luftfugtighed vil forudsætte adgang til betydelig flere observationer af vandindholdet i det øverste jordlag, end der er mulighed for i dag. På det fælleseuropæiske vejrcenter (ECMWF) i England arbejdes der på at udnytte satellitmålinger til at kortlægge vandindholdet i det øverste jordlag (personlig kontakt). Den opnåede erfaring derfra vil kunne indgå i DMIs bestræbelser på at forbedre prognosen for RH yderligere. Direkte og diffus solindstråling har også indflydelse på skimmelvejr. Der arbejdes på at gøre prognoser for disse parametre tilgængelige i DMIs prognosemodel.

De forudsigelser af RH, som DMI kan lave, er en middelværdi for et større areal (f.eks. 15 x 15 km), mens RH-målinger repræsenterer helt lokale forhold. Derfor kan det ikke undgås, at der selv for en "perfekt" prognosemodel normalt vil være forskel på den forudsagte RH for det større areal og den målte RH på en bestemt lokalitet.

4.3 Nedskalering af vejrprognoser til markniveau

Vejrprognoserne er generelt gældende for større gridområder på 15x15 km. I projektet blev det undersøgt, om man med fordel kunne justere vejrprognosen for RH til lokale forhold med brug af en lokal vejrstation (nedskalering) (afsnit 3.12). Da man ikke kunne forvente, at en given nedskaleringsmetode var gældende på alle tider af året, blev der udviklet en metode, som løbende gennem sæsonen automatisk beregnede en statistisk sammenhæng mellem målte data og prognosedata for de seneste 14 dage. Den givne sammenhæng blev anvendt til at justere de aktuelle vejrprognosedata. Metoden viste sig at have en gavnlig indflydelse på nøjagtigheden af forudsigelsen af temperatur, men ikke for relativ luftfugtighed. En forbedret nøjagtighed af prognoserne for lufttemperatur kan have interesse for andre anvendelser af vejrdata. Når prognosen for RH ikke blev forbedret ved nedskalering, er det sandsynligvis, fordi prognosen for RH generelt set er god. Dette resultat ændrer ikke ved, at brugen af lokale vejrstationer til brug for beregning af skimmelvejr kan være bedre end at bruge arealinterpolerede data eller data fra den nærmeste ordinære klimastation, jf. afsnit om brug af vejrdata ovenfor.

4.4 Udvikling af Blight Management

Det beslutningsstøttesystem, som før projektets start var tilgængeligt tidligere i PlanteInfo, hed Skimmelstyring. Her blev beregnet både dosis og anbefalet interval mellem behandlingerne. Dette system blev stort set ikke brugt af flere årsager. Den dynamiske anbefaling af både interval og dosis var svær at forene med strukturudviklingen, hvor færre avlere i dag har store arealer fordelt på mange marker. Skimmelstyring viste sig også usikker i praktisk anvendelse, fordi prognosen for skimmelvejr var unøjagtig på grund af unøjagtige prognosedata for RH (Hansen *et al.*, 2003). Derudover viste nye forsøg fra Flakkebjerg, at man kunne registrere skimmelsporangier også på dage, hvor der ifølge Skimmelstyring ikke skulle være risiko for dannelse af sporangier (Bay *et al.*, 2003). Samlet set betød disse usikkerheder, at systemet var for langt fra at kunne tilgodese avlernes krav om et helt sikkert system. Som en konsekvens af erfaringerne med Skimmelstyring blev Blight Management udviklet i starten af projektet.

Blight Management blev implementeret som en test- og udviklingsversion, der ikke blev gjort tilgængelig for avlere og konsulenter. Blight Management omhandler alene den algoritme, som beregner dosis af Shirlan ud fra sortsresistens, om der er fundet skimmel i regionen eller i marken og det aktuelle infektionstryk (afsnit 2.14). Tidspunktet for første behandling i forsøgene blev vurderet ud fra fund af skimmel i registreringsnettet fra PlanteInfo og infektionstrykket beregnet af Blight Management.

4.5 Test af Blight Management i forsøg

Blight Management blev i 2005-2006 afprøvet i seks forsøg i to forskellige sorter og under forskellige smittetryk præget af enten meget lave eller meget høje smittetryk (afsnit 3.13). Ved Grove, 2005 kunne Blight Management (BM) identificere, at behandlingsbehovet var ekstremt lavt. I sorten Saturna blev der ifølge BM med brug af GRID vejrdato behandlet 2.5 i behandlingsindeks mod 6.0 efter rutine, og der var ingen forskel mellem behandlingerne i skimmelangreb eller udbytte. Ved de øvrige to stationer i 2005 og ved alle stationer i 2006 har det samlede set over sæsonen været middel til meget skimmelfavorabelt. Fungicidforbruget var det samme eller lidt lavere efter BM, men der var ingen signifikant forskel i skimmelangreb sidst på sæsonen, i udbytte eller i graden af knoldskimmel.

I 2005 var der problemer med RH målinger på DMI stationen på Flakkebjerg, og sensoren for RH målinger på METOS stationerne målte meget forkert. Disse problemer var rettet op til 2006. Til gengæld viste det aktive stof fluazinam i fungicidet Shirlan – sammenlignet med tidligere – en vigende effekt i flere forsøg ved Flakkebjerg og andre stationer i Danmark. Antallet af forsøg er derfor ikke tilstrækkeligt til at foretage en egentlig validering af beslutningsstøttemodellen men skal i højere grad ses som en måde at afprøve, om modellerne er operationelle i marken. For at kunne validere værdien af et beslutningsstøttesystem, er det nødvendigt med et større antal forsøg samt en afprøvning hos et større antal kartoffelavlere for at kunne vurdere fordele og ulemper i forhold til en rutinestrategi. Det er således ikke muligt at give en klar konklusion om Blight Management i forsøg.

Et af de vigtige grundlag i Blight Management er anvendelsen af lavere doser af fungicid i perioder, hvor der ikke er risiko for angreb af kartoffelskimmel. Mulighederne for at anvende reducerede doser i mere resistente sorter er vist i tidligere danske forsøg (Nielsen og Bødker, 2001; Nielsen, 2004) og afprøvet med succes i Holland (Spits *et al.*, 2007) bl.a. baseret på erfaringer fra Danmark. Resultaterne fra Holland med anvendelse af fungicidet Shirlan konkluderer også, at mulighederne for anvendelsen af reducerede doser er bedst i den første halvdel af sæsonen, fordi Shirlan skal anvendes i normal dosis i de fleste, men ikke alle sorter (Spits *et al.*, 2007). En generel hævnning af dosis niveauet gennem sæsonen er allerede en del af metoden i Blight Management – jf. figur 11 og Appendiks F. Når dosis beregnes på baggrund af bl.a. sortens resistens, er det vigtigt, at information om sorterens resistens er pålidelig og opdateret.

4.6 Blight Management som beslutningsstøtte

Trods problemer med afprøvningen af systemerne under markforhold, viser forsøgene, at brugen af BM kan være med til at reducere behandlingshyppigheden og være med til at reducere brugen af svampemidler. Det fremgår dog klart fra undersøgelserne, at usikkerheden ved brug af BM stadig er for stor til, at de kan anvendes af den almindelige kartoffelavler som en ren beslutningsmodel til bekæmpelse af kartoffelskimmel. Et system som BM skal derfor anses som et værktøj til beslutningsstøtte, der i en kombination med anden rådgivning udgør et værdifuldt grundlag for i højere grad at variere brugen af svampemidler gennem vækstsæsonen.

Projektets overordnede mål var at etablere et forbedret grundlag for reduceret fungicidforbrug i kartofler. Langt de fleste konsulenter, der arbejder med rådgivning vedrørende skimmelbekæmpelse, anvender i dag i større eller mindre grad de forskellige beslutningskomponenter sammen med den almindelige vejrprognose til at fastsætte brugen af valg af svampemiddel og dosis (eksempel er angivet i Appendiks H). Systemet anvendes derfor indirekte af et større antal avlere via rådgivningssystemet. Det er ikke muligt at kvantificere effekten af beslutningsstøttesystemet på behandlingshyppigheden i kartofler. Fungicidforbruget har været stigende de seneste år som følge af en udvikling i skimmels biologi og klima i retning af mere skimmelfavorabelt vejr. Systemet har dog utvivlsomt medført, at der nu er stærk fokus på det behovsbestemte middelvalg og dosering og har derfor medført, at forbruget ikke har udviklet sig til et endnu højere niveau, som det f.eks. er set i Holland og Belgien.

5 Konklusion

Projektets formål er at forbedre grundlaget for at reducere fungicidforbruget i kartofler, og der er i 2005 og 2006 udført eksperimentelle forsøg med spredning, overlevelse og infektion af kartoffelskimmel under markforhold samt udviklet nye metoder, som kan forbedre kvaliteten af vejrprognosedata til beregning af risiko for udvikling og spredning af kartoffelskimmel. På baggrund af disse undersøgelser er der blevet udviklet modeller for beslutningsstøtte for bekæmpelse af kartoffelskimmel, og modellerne er afprøvet i markforsøg. Projektet er udført i samarbejde mellem Aarhus Universitet, Dansk Landbrugsrådgivning og Danmarks Meteorologiske Institut.

Resultaterne fra markforsøg med opsætning af sporefælder viser, at smitstof i form af sporangier (kartoffelskimmels sporer) dannes om natten og frigøres om morgenen, når der sker et kraftigt fald i den relative luftfugtighed. Ved at udsætte fangplanter i de samme forsøgsfelter viser resultaterne, at infektionen kan ske om morgenen, hvis der er et overlap mellem tilbageværende dugdråber og frigørelsen af sporangier. Dannede sporangier kunne ikke inficere, hvis de ikke indenfor ganske få timer kom i kontakt med frit vand enten fra dug eller fra nedbør. Hvis læsionerne først var etableret i forsøgsfeltet, kunne der findes infektionsdygtige sporangier næsten hver dag. Kun 1-5 % af sporangier i læsionerne var dog infektionsdygtige.

Tidligere mente man, at sporangiedannelsen var den begrænsende proces for skimmeludviklingen, fordi der kræves 10 sammenhængende timer med høj luftfugtighed og temperaturer over 10°C for sporulering sammenlignet med kun 4 timer med frit vand fra dug eller regn for infektion. Projektet viser, at dette ikke altid er gældende bl.a., fordi nydannede sporangierne kan fastholdes i læsionerne og spredes over mindst 2-3 dage. I den tørre juli 2006 blev der registreret infektionsdygtige sporangier på planter, som var kunstigt smittet, men der kunne ikke registreres infektioner på fangplanter overhovedet i denne periode. Dermed er overlevelse og infektion af stor betydning for en forståelse af sygdomsudviklingen.

I projektet er der udviklet et indeks for infektionstryk, som baserer sig på en vejrmæssig beregning af sporangiedannelse. Ved at koble sporangiedannelsen sammen med en model for overlevelse baseret på global stråling, blev der opnået en bedre sammenhæng mellem infektion på fangplanter, end hvis der kun blev anvendt infektionstryk. Inddragelse af modellen for overlevelse vil forbedre mulighederne for at udpege perioder, hvor der er meget lille risiko for nye infektioner, og dermed en mulighed for at reducere fungicidforbruget.

DMI har i projektet forbedret prognosen for relativ fugtighed (RH) i vækstsæsonen. Tidligere var prognosen for RH 5-10% for lav. Med justeringen af RH er beregningen af dagligt niveau af sporangiedannelse i prognosen en anelse for høj, men da infektionstrykket beregnes med vejrdata for en periode med to dage bagud og to dage frem, begrænses denne fejl betydeligt. Det blev undersøgt, om man kan bruge en lokal vejrstation til at justere prognosen for temperatur og RH og dermed opnå en bedre prognose

på markniveau. Prognosen for temperatur blev forbedret, men prognosen for RH blev hverken bedre eller dårligere.

Resultater og erfaringer fra projektet er anvendt til videreudvikling af beslutningsstøttesystemet Blight Management (BM). I BM vurderes risiko for angreb af kartoffelskimmel og bekæmpelsestidspunkt samt dosering af fungicid afpasses efter infektionsrisiko og sortsresistens i den enkelte mark. Forskellige testversioner af BM blev afprøvet i seks markforsøg 2005-2006. I disse versioner indgår dog ikke model for overlevelse, som først blev udviklet på basis af forsøgsresultater fra 2006.

Resultaterne viste, at beslutningsstøttesystemet BM kun i få forsøg og specielt ved lave smittetryk kunne reducere behandlingshyppigheden. Antallet af forsøg er dog langt fra tilstrækkeligt til at foretage en egentlig validering af beslutningsstøttemodellen og kan kun anvendes til at afprøve, om modellerne er operationelle i marken. Dele af systemet blev implementeret i 2007 i det eksisterende beslutningsstøttesystem i ww.planteInfo.dk.

Projektets undersøgelser viser, at den klimabaserede beslutningsstøttemodel (BM) endnu ikke er sikker nok eller designet til at kunne anvendes som en ren beslutningsmodel, der udpeger en bestemt dato for udbringning af svampemidler. BM i sin nuværende form kan kun anses som et værktøj for avler eller rådgiver, der i en kombination med anden information, og erfaring kan støtte i beslutningsprocessen vedrørende valg af dosering og svampemiddel afhængig af risikoen for spredning og infektion af skimmelsvampen.

6 Perspektivering

Erfaringerne fra rådgivning vedrørende skimmelbekæmpelse i både ind- og udland viser, at der er stor efterspørgsel efter et sikkert prognoseværkstøj til bestemmelse af "skimmelvej" for at kunne nedsætte behandlingshyppigheden og forbedre det økonomiske resultat af kartoffelavl. Der er derfor store perspektiver for udbredelse og anvendelse af et sikkert beslutningsstøttesystem både for at kunne reducere det stadig stigende forbrug af pesticider, men også som hjælpemiddel til at kunne fastsætte tidspunktet for anvendelse af svampemidler med forskellig virkemekanisme.

Perspektiverne skal især ses i lyset af, at kartoffelskimmelen udvikler sig hurtigere og kraftigere som følge af en række ændringer i svampens biologi og på grund af de seneste års ændrede vejrforhold. Udviklingen går helt klart i retning af en øget sprøjtning i kartoflerne.

På baggrund af projektets resultater og konklusioner kan der peges på en række forskningsmæssige initiativer, som kan føre til en videreudvikling af plantebeskyttelsesmetoder og omkostningseffektive strategier, som kan fremme en reduceret anvendelse af fungicider i kartofler.

- Klimaændring. De senere års klimaændring har betinget tidligere og mere alvorlige angreb af kartoffelskimmel. Tørre perioder efterfulgt af perioder med intensiv regn stiller nye krav til bekæmpelsespraksis. Det bør undersøges, hvordan forskellige klimascenarier påvirker udvikling af kartoffelskimmel. I denne sammenhæng bør det også belyses, hvordan de forskellige klimascenarier påvirker forekomsten af en række andre bladsvampe og det samlede bekæmpelsesbehov i kartofler. I disse scenarier bør indgå eventuelle ændringer i skimmelsvampens aggressivitet og forsøg med f.eks. klimasimulering under kontrollerede forhold.
- Nye komponenter i beslutningsstøttesystemerne. Med det forventede øgede bekæmpelsesbehov i kartofler kan vi i Danmark komme til at stå i en situation, hvor der sprøjtes mere intensivt, som det f.eks. ses i Holland og Belgien, hvor der i visse områder sprøjtes 15-25 gange. En sådan ændring vil stille skærpede krav til anvendeligheden af beslutningsstøttesystemer i kartofler. Der skal måske ses på helt nye komponenter. Det ville være oplagt at belyse, hvordan f.eks. sorternes resistens kunne kvantificeres og udnyttes bedre i en integreret bekæmpelsespraksis. Der bør sættes på bedre udnyttelse af sortsresistens, dels den aldersbetingede resistens, som ændrer sig gennem kartoffelplantens udvikling dels den generelle resistens. Andre forebyggende foranstaltninger vil også komme i fokus, som f.eks. elimination af primære smitekilder. Projektets resultater og konklusioner har desuden peget på, at selve bladets overfladefugtighed (bladfugt) er en vigtig parameter for infektion af kartoffelskimmel. Ud over bladfugt har projektets resultater også peget på betydningen af UV-stråling som en betydende faktor for skimmelsporernes levedygtighed. Der er behov for mere kontrollerede undersøgelser, der kan forbedre prognosemulighederne for bladfugt og undersøgelser,

som kan belyse hvordan den globale indstråling påvirker overlevelsen af sporer.

- Bedre udnyttelse af nye fungicider. Da nærværende projekt startede, var der stort set kun to kontaktfungicider på markedet. I dag er der kommet flere og mere specifikke fungicider frem, og der er behov for at videreudvikle beslutningsstøttesystemet, så det i højere grad udnytter forskellige midlers egenskaber (mobilitet i planten, præventive og kurative egenskaber, regnfasthed) og bliver i stand til at foreslå en mere **fungicidspecifik** behandling f.eks. i perioder med meget højt smittetryk og risiko for knoldinfektioner. Særligt bør det undersøges, om der kan opstilles en additiv model for resistenskarakter, fungiciddosis, sprøjteinterval og vejrforhold.
- Yderligere forbedring af prognosen for RH. Projektets undersøgelser har allerede ført til en forbedring af prognosen for den relative luftfugtighed, men der er behov for at undersøge, hvor meget en **yderligere** forbedring af prognosen for relativ luftfugtighed kan forbedre forudsigelsen af svampeangreb. Forbedring af prognosen for relativ luftfugtighed har ikke kun betydning for en fugtighedselskende organisme som kartoffelskimmel men vil kunne forbedre ethvert andet prognoseværktøj for andre fugtighedselskende svampe. Forskningsmæssigt kunne det belyses, om prognosen for relativ luftfugtighed kunne forbedres yderligere ved at forbedre analysemetoden for jordvand f.eks. ved at foretage en korrektion af vandmængden i det øverste jordlag på grundlag af en beregning af temperatur og fugtighed ved overfladen i f.eks. den forudgående uge. Markante forbedringer kræver dog adgang til flere observationer af vandindholdet i det øverste jordlag, end der er mulighed for at få i dag.
- Barrierer. Der er behov for en cost/benefitanalyse vedrørende brugen af beslutningsstøttesystemer og at undersøge de barrierer, der har indflydelse på landmændenes valg af plantebeskyttelsesstrategier i kartofler, herunder anvendelsen af eksempelvis beslutningsstøttesystemer. Hvor sikre skal de være, og hvad skal der til for, at de virker effektivt og brugervenligt i relation til praktisk anvendelse. Konsulenterne i Danmark anvender i vid udstrækning værktøjerne, der ligger til grund for Blight Management som f.eks. infektionsrisiko i deres daglige rådgivningsarbejde. Derimod er det tilsyneladende kun få landmænd, som direkte gør brug af de nye systemer. Der er behov for at undersøge, om målgruppen for beslutningsstøtte i første omgang er konsulenterne, og hvordan man IT-mæssigt kan støtte en integration mellem beslutningsstøtte fra PlanteInfo om skimmelbekæmpelse og rådgivning fra konsulenterne.

Ud over de forskningsmæssige initiativer er der behov for et **udviklings- og implementeringsarbejde**, så de forskningsbaserede resultater kan udnyttes i operationelle planteværnsmodeller.

- Projektets undersøgelser viser, at der kan opnås en bedre sammenhæng mellem modelberegninger og biologiske data, hvis bladfugt og nedbør på timeniveau inddrages sammen med RH, end hvis der som nu kun anvendes RH som fugtighedsparameter. Hverken DMI stationsdata eller arealbaserede griddata giver mulighed for at inddrage timenedbør og timebladfugt i beregningerne. Dette er til gengæld muligt med METOS og tilsvarende vejrstationer til anvendelse af den enkelte landmand. Der kunne derfor opnås et bedre grundlag for beregning af skimmelvej ved at starte med at investere i

udstyr, som kan måle bladflugt på DMI vejrstationer i vigtige kartoffelområder. Desuden bør der gives mulighed for at anvende data fra private klimastationer i PlanteInfo.

- Udviklingen i dansk kartoffelerhverv er gået i retning af større bedrifter med fast sprøjtepraksis. Det er vanskeligt at stille om til aktuel ændring i skimmelrisiko og ændring af sprøjtepraksis. Der bør derfor være særlig fokus på virkemidler, der er egnede til at fremme innovative metoder og strategier til reduktion af pesticidanvendelsen på **store** kartoffelbedrifter. Der kunne f.eks. være udvikling af beslutningsstøttesystemer, som kan implementeres på **store** bedrifter med simple modeller.
- Der findes flere udenlandske beslutningsmodeller, som mere direkte giver en behandlingsvejledning på markniveau. Disse systemer, som f.eks. det hollandske PlantPlus og ProPhy (se afsnit 1.4), kræver anvendelse af en lokal vejrstation og en del observationer fra marken som input. Der er behov for at undersøge, hvordan disse systemer kunne justeres, så de eventuelt kunne tages i anvendelse i Danmark. Desuden er der behov for at vurdere behovet og efterspørgsel blandt danske avlere.
- Angreb af kartoffelskimmel kan variere fra år til år og dermed bekæmpelsesbehovet, men det kan være vanskeligt at vurdere, om der er en overensstemmelse mellem det aktuelle angreb og den udførte sprøjteindsats. De udviklede modeller i BM kan udnyttes i en sådan analyse, og ved en videreudvikling af systemet, kan det enkelte års smitterisiko kvantificeres og omsættes til et teoretisk bekæmpelsesbehov, som kan sammenholdes med en den aktuelt udførte bekæmpelsespraksis.
- Vi bør have en vurdering af om værdisætning af miljømæssige effekter med fordel kan udnyttes, således at gevinster og omkostninger ved forskellige bekæmpelsesstrategier kan sammenlignes. I kartofler, hvor der årligt sprøjtes 10-15 gange, kan det have betydning for den samlede belastning, hvilke produkttyper, der indgår i sprøjteplanen. I Holland er det f.eks. gennem paraplyplanen lykkedes at reducere **pesticidpåvirkningen** med 75%. Dette er ikke målt i absolutte tal eller BI, men som reduktion i belastning af miljøet. De anvendte bekæmpelsesmidler er karakteriseret for forskellige miljøparametre ("Environmental points") og ved at omstille til potentielt mindre miljøbelastende bekæmpelsesmidler, er det lykkedes at reducere belastningsgraden. For at se på, om det er muligt at værdisætte de miljømæssige effekter og for at kunne sammenligne med Holland eller andre lande, kunne man gennemgå aktuelle bekæmpelsesmidler i kartofler. Formålet skulle være at belyse muligheder for gennem en miljøkarakterisering og vejledning i anvendelse af mindre belastende midler at kunne opnå en potentiel mindre belastning af miljøet. Ud over miljøkarakterisering af bekæmpelsesmidlerne kunne andre tiltag, som f.eks. sprøjteteknik, afdrift m.v. også indgå.

Resultater og erfaringerne fra projekt vil kunne anvendes i arbejdet med udvikling af beslutningsstøtte og fremme en mere optimal kvalitativ og kvantitativ anvendelse af fungicider i andre afgrøder med fugtighedselskende svampe. Dette er specielt aktuelt i frugt og grønt, hvor der tilsvarende som i kartofler er tale om mange behandlinger pr. sæson, og hvor skadevolderne som f.eks. æbleskurv, salatskimmel og løgskimmel har en vejrbettinget livscyklus, som er meget lig *Phytophthora infestans*.

Referenceliste

Anderson, B. *et al.* 2007. Foliar aggressiveness of *Phytophthora infestans* in four Nordic countries (working title). *Under udarbejdelse*.

Andrade-Piedra, J.L., R.J. Hijmans, G.A. Forbes, W.E. Fry & Nelson, R.J. 2005. Simulation of Potato Late Blight in the Andes. I: Modification and Parameterization of the LATEBLIGHT Model. *Phytopathology*, Volume 95, Number 10, 1191-1199.

Aylor, D.E., Fry, W.E., Mayton, H. & Andrade-Piedra, J.L. 2001. Quantifying the rate of release and escape of *Phytophthora infestans* sporangia from a potato canopy. *Phytopathology* 91(12), 1189-1196.

Bashi, E., Ben-Joseph, Y. & Rotem, J. 1982. Inoculum potential of *Phytophthora infestans* and the development of potato late blight epidemics (*Phytopathology* 72, 1043-1047).

Bay, A., Bødker, L. & Hansen, J.G. 2003. Undersøgelse af sporulering og sporangiefrigørelse hos *Phytophthora infestans* under markforhold ved Flakkebjerg 2002. I: 20. Danske Planteværnskonference, marts 2003, DJF rapport - Markbrug 89. 2003. s. 31-47.

Bekæmpelsesmiddelstatistik 2006. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 5, 2007

Bringfelt, B. 1996. Tests of new land surface treatment in HIRLAM. HIRLAM Technical Report No 23, pp. 73.

Bruhn, J.A. & Fry, W.E. 1981. Analysis of potato late blight epidemiology by simulation modelling. *Phytopathology* 71, 612-616

Bødker, L., Kidmose, R., Hansen, J.G. & Holm, S.P. 1998. Kartoffelskimmel før og nu. I: 15. Danske Planteværnskonference - Sygdomme og Skadedyr. 1998. s. 81-87 (DJF-rapport, Markbrug; 3).

Bødker, L. & Nielsen B.J. 2001. Preventive and curative effect of fungicides against potato late blight under field conditions. Proceedings of the 5th Workshop on the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight. PAV Special Report no. 7, Lelystad, 261- 264.

Bødker, L. & Nielsen B.J. 2002. Influence of irrigation on the wash-off of fungicides in field grown potato. Proceedings of the 6th Workshop on the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight. PPO Special Report no. 8, Wageningen, 163-167.

Bødker, L., Pedersen H., Kristensen, K. Møller, L., Lehtinen & Hannukala A. 2006. Influence of crop history of potato on early occurrence and disease severity of potato late blight caused by *Phytophthora infestans*. In: Schepers, H.T.A.M. & Westerdijk, C.E. (eds.): Proceedings of the workshop on the

European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight. PPO-Special Report no 11, 2006, 143-150.

Cleveland, W.S. 1979. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association* 74:829-836.

Cohen, Y., Eyal, H. & Sadon, T. 1975. Light-induced inhibition of sporangial formation of *Phytophthora infestans* on potato leaves. *Can. J. Bot.* 53:2680-2686.

Crosier, W. 1934. Studies in the Biology of *Phytophthora infestans* (Mont.) de bary. Cornell University Agricultural Experimental Station Memoir No 155, 40 pp.

Danmarks Statistik. 2006. Nyt fra Danmarks Statistik 2006, nr. 372

Detlevsen, N.K. 2003. Analyse af to-døgns vejprognoser. DJF Intern Rapport 172, 40 pp.

Dowley, L.J. & Burke, J.J. 2004. Field validation of four decision support systems for the control of late blight of potatoes in Ireland Potato Research Volume 47, Numbers 3-4, 151-162.

Drusch, M. & Viterbo, P. 2007. Assimilation of Screen-Level Variables in ECMWF's Integrated Forecast System: A study on the Impact on the Forecast Quality and Analysed Soil Moisture. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 300—314.

Fry, W.E. & Mizubuti, E.S. 1998. Potato late blight. In: Eds. Garath Jones. *The Epidemiology of Plant Disease*. Klüwer Academic Publisher, 1998, 371-388.

Halvorson, H.O. & Ziegler, N.R. 1933. Applications of statistics to problems in bacteriology. I. A means of determining bacterial populations by the dilution method. *J. Bacteriol.* 25:101¹ 21.

Hansen, J.G. 1992. Mikroklima i kartofler i relation til kartoffelskimmel (*Phytophthora infestans*). *Tidsskrift for Planteavl's Specialserie* nr. S 2178, 45 pp.

Hannukkala, A., Kaukoranta, T., Lehtinen, A. & Rahkonen, A. 2007. Late-blight epidemics on potato in Finland, 1933-2002; increased and earlier occurrence of epidemics associated with climate change and lack of rotation. *Plant Pathology* 56, 167-176.

Hansen, J.G. 1995. Meteorological dataflow and management for potato late blight forecasting in Denmark. In: eds J.G. Hansen & R. Sigvald. *Proceedings of the Workshop on Weather Information and Plant Protection. Models, forecasting methods and information systems*. SP rapport; 10, s. 57-64.

Hansen, J.G., Andersson, B. & Hermansen, A. 1995. NEGFY – A system for scheduling chemical control of late blight in potatoes. In: (Eds. Dowley, L.J., Bannon, E., Cooke, L.R., Keane, T. & O'Sullivan, E.) *Proceedings 'PHYTOPHTHORA 150 Sesquicentennial Scientific Conference*, Dublin, Ireland, 201-208. Boole Press Ltd.

Hansen, J.G. Kleinhenz, B. & Jörg, E. 2001. Results of validation trials of *Phytophthora* DSS in Europe in 2000. In: Schepers, H.T.A.M (editor): Proceedings of the Workshop on the European network for development of an integrated Control Strategy of Potato Late Blight, PAV-special report no 7, February 2001, 23-38.

Hansen, J.G. 2002. Evaluering af risikotal for udvikling af kartoffelskimmel (*Phytophthora infestans*). DJF intern rapport 167, 70 pp.

Hansen, J.G., Thysen, I., Nielsen, B.J., Bødker, L. & Hansen, H.H. 2003. Udvikling af Skimmelstyring for bekæmpelse af kartoffelskimmel. 20. Danske Planteværnskonference. Korn, kartofler, skadedyr, miljø og postere. DJF rapport 89. p. 7-24.

Hansen, J.G., Bødker, L. & Nielsen, B.J. 2002a. Implementation of variety resistance in control strategies of potato late blight. In: Schepers, H.T.A.M.& Westerdijk, C.E. (eds.): Proceedings of the workshop on the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight. Applied Plant Research, AGV Research Unit, Wageningen, PPO-Special Report no 8, April 2002, 111-124.

Hansen, J.G., Kleinhenz, B., Jörg, E., Wander, J.G.N., Spits, H.G., Dowley, L.J., Rauscher, E., Michelante, D., Dubois, L. & Steenblock, T. 2002b. Results of validation trials of *Phytophthora* DSSs in Europe, 2001. In: Schepers, H.T.A.M.& Westerdijk, C.E. (eds.): Proceedings of the workshop on the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight. Applied Plant Research, AGV Research Unit, Wageningen, PPO-Special Report no 8, April 2002, 231-242.

Hansen, J.G., Nielsen, B.J., Bødker, L., Andersson, B., Yuen, J., Wiik, L., Hermansen, A., Nærstad, R., Le, V.H., Brurberg, M.B., Hannukkala, A. & Lehtinen, A. 2006. Blight management in the Nordic countries. In: Schepers, H.T.A.M.& Westerdijk, C.E. (eds.): Proceedings of the Ninth Workshop on the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight. Tallinn, Estonia, 19th – 23rd Oct. 2005. Applied Plant Research, AGV Research Unit, Wageningen, PPO-Special Report no 11, March 2006, 39-52.

Harrison, J.G. 1992. Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage – a review. *Plant Pathology* 41, 384-416.

Harrison J.G. 1995. Factors involved in the development of potato late blight disease (*Phytophthora infestans*) In: eds. A.J. Haverkort & D.K.L. Mackerron. *Potato Ecology and modelling of Crops under Conditions Limiting Growth*. Kluwer Academic Publisher, 215-236.

Harrison, J.G. & Lowe, R. 1989. Effects of humidity and windspeed on sporulation of *Phytophthora infestans* on potato leaves. *Plant Pathology* 35, 585-591.

Hermansen, A. & Amundsen, T. 2003. Evaluation of old potato late blight forecasting rules during 1994-1999 in fields with the New *Phytophthora infestans* population in Norway. *Acta. Agric. Scand. Sect. B. Soil and Plant Sci.* 53, 118-128.

- Hirst, J.M. 1953. Changes in atmospheric spore content: diurnal periodicity and the effects of weather. Transactions of the British Mycological society 36, 375-393.
- Hirst, J.M. 1958. New methods of studying plant disease epidemics. Outlook on Agriculture 2, 16-26.
- Joensen, J. & Rasmussen, A. 2005. Pollen og sporemålinger i Danmark. Sæson 2004. Astma-Allergi Forbundet og Danmarks Meteorologiske Institut. Rapport 39 pp.
- Judelson, H.S. & Blanco, F.A. 2005. The spores of *Phytophthora infestans*: Weapons of the plant destroyer. Nature Reviews, Microbiology, vol.3, 47-58
- Lehtinen, A. & Hannukkala, A. 2004. Oospores of *Phytophthora infestans* in soil provide an important new source of primary inoculum in Finland. *Agricultural & Food Science* 13, 399-410.
- Lehtinen, A., Hannukkala, A., Andersson, B., Hermansen, A., Le, V.H., Nærstad, R., Brurberg, M.B., Nielsen, B.J., Hansen, J.G. & Yuen, J. 2008. Phenotypic variation in Nordic populations of *Phytophthora infestans* in 2003. *Plant Pathology*, vol. 57, nr. 2, s. 227-234.
- Lehtinen, A., Hannukkala, A., Andersson, B., Hermansen, A., Le, V.H., Nærstad, R., Brurberg, M.B., Nielsen, B.J., Hansen, J.G. & Yuen, J. 2008. Foliar aggressiveness of *Phytophthora infestans* in four Nordic countries. *Plant Pathology*, (in press)
- Lærke, P.E., Nielsen, B.J. & Bødker, L. 2005. Bekæmpelse af skimmel i økologiske kartofler –resultater fra EU-projektet Blight-Mop. Plantekongres 2005, 174-175
- Magarey, R.D., Travis, J.W., Russo, J.M. Seem, R.C. & Magarey, P.A. 2002. Decision support systems: Quenching the Thirst. Plant Disease. Vol 86 No 1, 4-14.
- Minogue, K.P. & Fry, W.E. 1981. Effect of temperature, relative humidity and rehydration rate on germination of dried sporangia of *Phytophthora infestans*. Phytopathology 71, 1181-1184.
- Mizibuti, E.S.G., Aylor, D.E. & Fry, W.E. 2000. Survival of *Phytophthora infestans* sporangia exposed to solar radiation. Phytopathology 90 (1), 78-84.
- Nielsen, B.J. & Bødker, L. 2001. Strategies for control of late blight (*Phytophthora infestans*) integrating variety resistance, intervals, fungicide doses and weather forecast. Proceedings of the 5th Workshop on the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight. PAV Special Report no. 7, Lelystad, 207- 214
- Nielsen, B.J. & Bødker, L. 2002. Field experiments with preventive and curative control of potato late blight. Proceedings of the 6th Workshop on the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight. PPO Special Report no. 8, Wageningen, 211-215.

- Nielsen, B.J. 2003. Nye fungicider til bekæmpelse af kartoffelskimmel. 20. Danske Planteværnskonference 2003 Sygdomme og Skadedyr. Danmarks JordbrugsForskning Rapport, Markbrug, nr. 89, 53-67.
- Nielsen, B.J., Bødker, L., Lærke, P.E. & Mølgaard, J.P. 2003. Effect of compost extracts on potato late blight (*Phytophthora infestans*). Proceedings of the seventh workshop of an European network for the development of an integrated control strategy of potato late blight. Poznan, Polen October 2002. H.T.A.M. Schepers and C.E. Westerdijk, editors. PPO-Special Report no. 9 (2003), 193-198.
- Nielsen, B.J. 2004. Control strategies against potato late blight using weekly model with fixed intervals but adjusted fungicide dose. Proceedings of the eight workshop of an European network for the development of an integrated control strategy of potato late blight. Jersey, 31 March– 4 April 2004. H.T.A.M. Schepers and C.E. Westerdijk, editors. PPO-Special Report no. 10 (2004), 233-235.
- Nielsen, B.J. 2008. Skimmelmidler – hvad kan de? Plantekongres 2008. Dansk Landbrugsrådgivning og Danmarks JordbrugsForskning, 200-203.
- Nielsen, N.W. 2005. The momentum equation in HIRLAM. NetFam lecture 13 June 2005, Sodankylae, Finland. Tilgængelig fra <http://netfam.fmi.fi/>
- Noilhan, J. & Planton, S. 1989. A Simple Parameterization of Land Surface Processes for Meteorological Models. Mon. Wea. Rev., 117, 536—549.
- Nordskog, B., Gadoury D.M., Seem, R.C. & Hermansen, A. 2007. Impact of Diurnal Periodicity, Temperature, and Light on Sporulation of *Bremia lactucae*. Phytopathology, Vol 97, Number 8, 979-986.
- Oijen, M. van. 1995. Simulation models of potato late blight. In: Haverkort, A.J. & Mackerron, D.K.L. (Eds.). Potato Ecology and modelling of crops under conditions limiting growth. Proceedings of the Second International Potato Modelling Conference held in Wageningen 17-19 May, 1994
- Petersen, B.N., Larsen, L., Egelund, O., Buch, H., Jørgensen, F. & Gravesen, S. 1986. Pollen and mould spore counts in Denmark. Description of Methods. Astma-Allergi Forbundet, Rapport 56 pp.
- Raatjes, P., Hadders, J., Martin D. & Hinds, H. 2004. PLANT-Plus: Turn key solution for disease forecasting and irrigation management. In: eds. D.K.L. MacKerron & A. J. Haverkort. Decision support systems in potato production. Bringing models to practice. Wageningen Academic Publishers, 168-183.
- Ruckstuhl, M., Cao, K.Q. & Forrer, H.R. 1999. Validation of the MISP model for the control of potato late blight by means of sporangial movement and leaf disease assessment. In: Schepers, Huub and Bouma, Erno (eds.): Proceedings of the Workshop on the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight, Uppsala, Sweden, 9-13 September 1998. PAV-special report no 5, January 1999, 155-163.
- Sass, B.H., Nielsen, N.W., Jørgensen, J.U., Amstrup, B., Kmit, M. & Mogensen, K.S. 2002. The operational DMI-HIRLAM system - 2002-version. DMI Technical Report 02-05, 58 pp

- Schepers H.T.A.M. 1998. Epidemiological parameters in decision support systems for *Phytophthora infestans*. In: Proceedings from Workshop: European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight. PAV-special report; 3, 1998. s. 30-37.
- Schepers H.T.A.M. 2005. Control of *Phytophthora infestans* in potato. In: eds. A. J. Haverkort & P.C. Struik. Potato in Progress. Science meets Practice. Wageningen Academic Publishers, 268-276.
- Schlenzig A., Habermeyer, J. & Zinkernagel, V. 1998. Überwachung des Epidemieverlaufs von *Phytophthora infestans* in kartoffeln anhang der Sporangienbewegung. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 105 (1), 22-33.
- Schroedter, H. 1983. Meteorological problems in the practical use of disease forecasting models. EPPO Bulletin, Vol 13 No 2, 307-310.
- Spits, H., Evenhuis, B. & Schepers, H. 2007. Fungicide dose rates & cultivar resistance, results of five years of field experiments in the Netherlands I: Proceedings of the Tenth Workshop of an European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. Wageningen: Applied Plant Research, Special report; 12, 165-170.
- Undén, P., Rontu, L., Järvinen, H., Lynch, P., Calvo, J., Cats, G., Cuxart, J., Eerola, K., Fortelius, C., Garcia-Moya, J.A., Jones, C., Lenderlink, G., McDonald, A., McGrath, R., Navascues, B., Nielsen, N.W., Ødegaard, V., Rodriguez, E., Rummukainen, M., Rööm, R., Sattler, K., Sass, B.H., Savijärvi, H., Schreur, B.W., Sigg, R., The, H. & Tijm, A. 2002. HIRLAM-5 Scientific Documentation, available from SMHI, S-601 Norrköping, Sweden, pp. 144.
- Velleman, P.F. & Hoaglin, D.C. 1981. Applications, basics, and computing of exploratory data analysis. Boston, Mass.: Duxbury Press.
- Waggoner, P.E. 1968. Weather and the rise and fall of fungi. In: Loewry, W.P. (ed.) Biometeorology. Oregon State University Press, Corvallis, USA, 45-66.
- Widmark, A.K., Andersson, B., Cassel-Lundhagen, A., Sandström, M. & Yuen, J. 2007. *Phytophthora infestans* in single field in southwest Sweden early in spring: symptoms, spatial distribution and genotypic variation. *Plant Pathology* 56, 573-576.
- Wiik, L., Nielsen, B.J., Jensen, B., Hansen, J.G., Koppel, M., Runno, E., Hannukkala A., Ronis, A., Bucena, L., Hermansen, A. & Nærstad R. 2006. A survey on conventional strategies in the Nordic and Baltic countries. NJF Seminar 388. Integrated control of Potato Late Blight in the Nordic and Baltic Countries, Helsingør, Denmark, 29 November – 1 December 2006NJF Report • Vol. 2 • No. 9, 39.

Vejr og infektionstryk på Forskningscenter Flakkebjerg 2005- 2006

Vejret i Danmark 2005

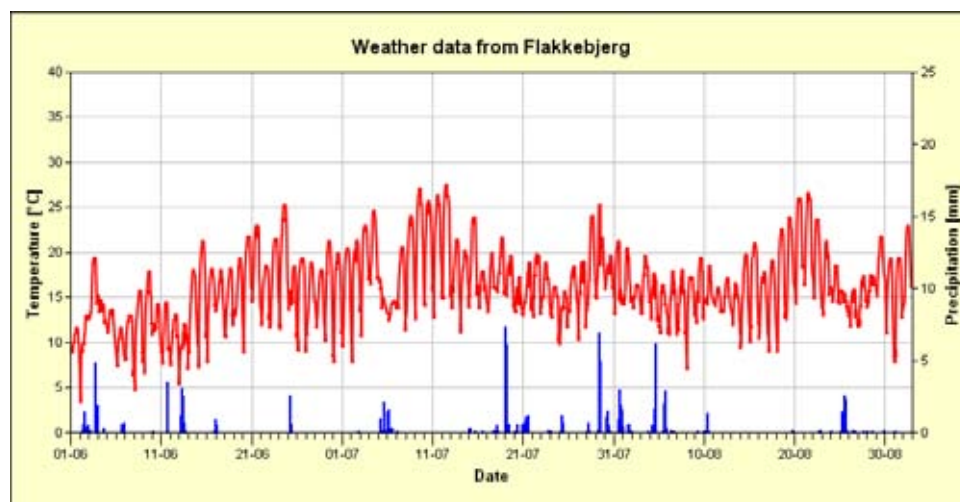
Sommeren var regnfuld. Der faldt 12% mere nedbør end normalt, og indstrålingen var lig med normalen. Fordampningen var endvidere meget tæt på normalen, og middeltemperaturen for landet var 0,3°C højere end normalt. **Juli** var varm og temmelig rig på regn. Der kom 30 mm mere nedbør end normalt, og middeltemperaturen var 1,6°C højere end normalt. Strålingen var lidt lavere, og fordampningen var tæt ved normalen. **August** var næsten normal, dog med et underskud af nedbør. Middeltemperaturen for august var 0,3°C mindre end normalt, og der faldt 24% mindre nedbør. Endvidere var indstrålingen og fordampningen lidt lavere end normalt, nemlig henholdsvis 2 og 6% (tabel A1). Juli var kun moderat favorabel for skimmeludvikling, mens august var meget favorabel for skimmel.

Vejret ved Flakkebjerg i 2005

Vækstsæsonen 2005 ved Flakkebjerg er karakteriseret ved megen nedbør og køligt vejr i starten af juni, samt en relativt tør og varm første halvdel af juli måned. Herefter indtrådte en meget nedbørsrig periode fra tredje uge af juli med moderate temperaturer. Fra midt i august og sæsonen ud var vejret relativt tørt og varmt og med aftagende temperaturer (figur A1). Det var relativt varmere end normalt i juli og september. Der faldt ekstremt lidt nedbør i september 18,7 mm mod normalt 59 mm. Strålingen var noget nær normal i alle de fire sommermåneder.

Tabel A1. Temperatur, nedbør og global stråling ved Flakkebjerg i 2005 sammenholdt med Normal værdier for perioden 1961-1990.

Måned	Temperatur (°C)	Normal	Nedbør (mm)	Normal	Stråling (MJ/m ²)	Normal
Juni	13.7	14.6	47.3	47	627	609
Juli	17.0	15.9	52.4	59	553	565
August	15.6	15.9	48.5	55	468	488
September	14.3	12.9	18.7	59	328	311



Figur A1. Temperatur (Y1 akse og rød kurve) og nedbør (Y2 akse og blå søjler) ved Flakkebjerg, 1. juni til 1. september 2005.

Vejret i Danmark 2006

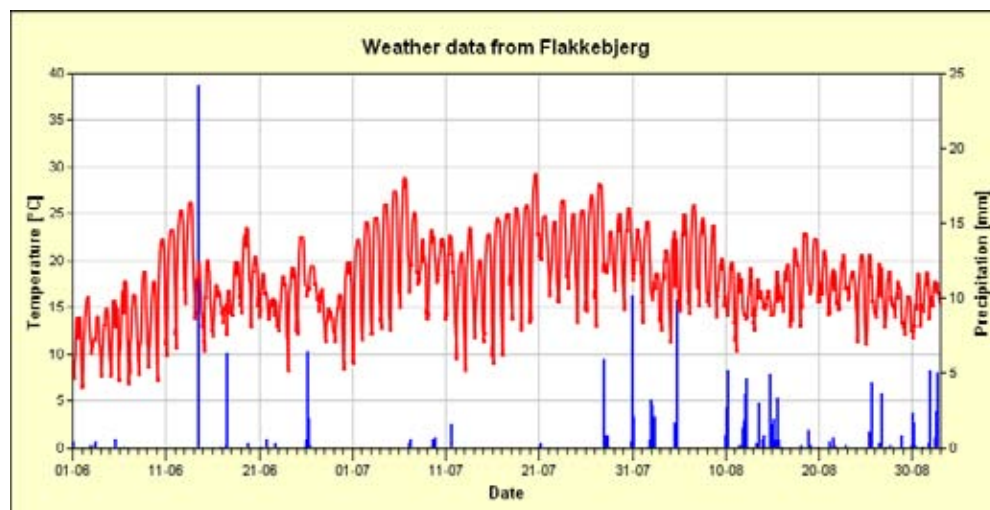
Sommeren var meget varm. Middeltemperaturen var $2,1^{\circ}\text{C}$ højere end normalt. Der faldt 200 mm nedbør, hvilket er 6% mere end normalt, fordampningen var 16% højere end normalt. Endvidere blev der målt 11% højere globalstråling end normalt. **Juli** gav både rekorder for middeltemperaturen og solens stråling. Middeltemperaturen for måneden var $19,8^{\circ}\text{C}$, hvilket er $4,2^{\circ}\text{C}$ over normalen. Globalstrålingen var 21% højere end normalt (tabel A2). Der faldt kun 50% af normalnedbøren for juli måned, og fordampningen var 38% højere end normalt. **August** blev meget våd, men også lun. Gennemsnitsnedbøren for Danmark blev på 141 mm, hvilket er 110% mere end normalt. Middeltemperaturen blev $1,4^{\circ}\text{C}$ over normalen, fordampningen og globalstrålingen var lidt under normalen.

Vejret ved Flakkebjerg i 2006

Vækstsæsonen 2006 ved Flakkebjerg er karakteriseret ved en relativ kølig og tør anden halvdel af juni måned. Juli måned var ekstrem tør og varm som i resten af landet. I sidste uge af juli måned skete der et markant vejromskifte til mere fugtigt og køligt vejr (figur A2). Dette vejr startede alvorlig udvikling af skimmel ved Flakkebjerg. Gennemsnitstemperaturen for juli var næsten 4 grader højere end normalt ($19,6$ mod normalt $15,9$), men der faldt 20 mm mindre nedbør ($37,8$ mod 59 mm). August var ca. 1 grad varmere end normalt, men der faldt dobbelt så megen nedbør end normalt ($119,2$ mod 55 mm). Strålingen er korreleret med temperatur og nedbør således, at strålingen i juli og september var ca. 50 MJ/m^2 højere end normalt, mens juni og august var mere normale.

Tabel A2. Temperatur, nedbør og globalstråling ved Flakkebjerg i 2006 sammenholdt med Normal værdier for perioden 1961-1990.

Måned	Temperatur (°C)	Normal	Nedbør (mm)	Normal	Stråling (MJ/m ²)	Normal
Juni	15.1	14.6	31.2	47	622	609
Juli	19.6	15.9	37.8	59	715	565
August	16.8	15.9	119.2	55	449	488
September	16.1	12.9	46.3	59	362	311



Figur A2. Temperatur (Y1 akse og rød kurve) og nedbør (Y2 akse og blå søjler) ved Flakkebjerg, 1. juni til 1. september 2006.

Ændring af ruhedsparmeteren for temperatur

I DMI-HIRLAM er ændringen med højden (z) af den meteorologiske parameter η nær overfladen givet ved

$$(1) \quad \eta(z) - \eta(0) = \frac{\eta_0}{k} \left(\ln \frac{z}{z_{0\eta}} - \Psi_{\eta} \left(Ri, \frac{z}{z_{0m}}, \frac{z_{0\eta}}{z_{0m}} \right) \right)$$

I (1) er $\eta = u, v$ og q , hvor u og v er de horisontale vindkomponenter, $\theta_v = \theta(1+0.61q)$ virtuelle potentielle temperatur, q den specifikke fugtighed og $\eta(0)$ værdien af η ved overfladen. Endvidere er z_{0m} ruhedslængden for vind, $z_{0\eta}$ ruhedslængden for η , Ψ_{η} en stabilitetsfunktion, som bl.a. afhænger af bulk Richardson tallet (Ri) for det nederste modellag. Stabilitetsfunktionsudtrykket er temmelig langt, og der henvises derfor til Ψ_{η} -formlerne (76) til (79) i Sass *et al.* (2002). η^* er et mål for fluktuationer i η pga. turbulens.

$$Ri = \frac{g(\theta_v(z) - \theta_v(0))z}{\theta_v(0)(u^2 + v^2)}$$

er et dimensionsløst mål for forholdet mellem den statiske og dynamiske stabilitet af luften ved overfladen. I udtrykket for Ri er g tyngdeaccelerationen.

Værdien af $z_{0\eta}$ har betydning for størrelsen af den lodrette gradient af η ved overfladen, således at en lille værdi af $z_{0\eta}$ giver større gradient.

I DMI-HIRLAM er som udgangspunkt $z_{0m} = z_{0t} = z_{0q}$ for alle typer af landoverflader undtagen 'lav vegetation' og 'land uden vegetation'. For de sidstnævnte overfladetyper benyttes som udgangspunkt Zilitinkevich' formel

$$(2) \quad z_{0m} = z_{0t} \exp(kc\sqrt{R_*}),$$

hvor $k=0.4$ (Von Karman's konstant), $c=0.1$ og $R_* = z_{0m} u^*/\nu$ overflade Reynolds tallet. I R_* er $\nu \approx$

$1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ den molekylære kinematiske viskositetskoefficient for atmosfærisk luft og u^* friktionshastigheden. Formlen for R_* viser, at dette dimensionsløse tal vokser, jo mere turbulent strømningen bliver (jo større u^* er). For fastholdt u^* er tallet også større for en ru (z_{0m} relativt stor) end for en glat overflade (z_{0m} relativt lille). For de pågældende overfladetyper er der i modellen konstateret en tendens til for store temperaturgradienter ved overfladen. For at kompensere for dette er der for de nævnte overflader indført en modificeret Zilitinkevich formel, givet ved

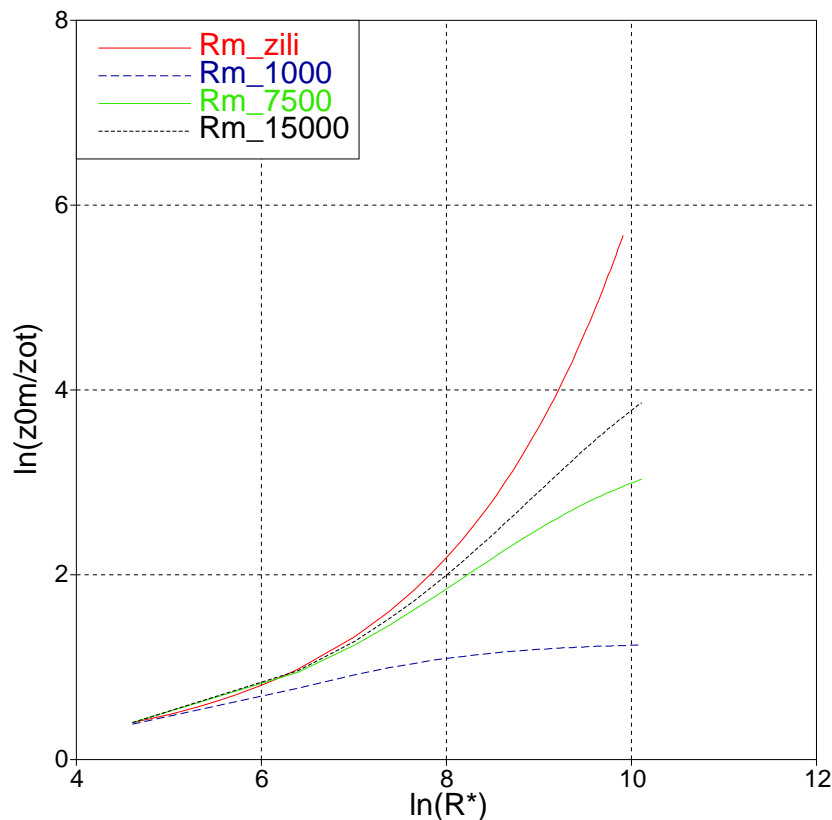
$$(3) \quad z_{0m} = z_{0t} \exp\left(kc \sqrt{\frac{R_m}{1 + \frac{R_m}{R_*}}}\right).$$

I (3) er R_m en konstant, som principielt kan have forskellige værdier for forskellige vegetationstyper. Desuden antages, at ruhedslængden for specifik fugtighed er den samme som for temperatur, det vil sige $z_{0t} = z_{0q}$. Værdien af R_m kontrollerer, hvor hurtigt z_{0m}/z_{0t} vokser med R_* . Figur B1 viser kurver for forskellige værdier af R_m , samt for den teoretiske formel foreslået af

Zilitinkevich. For små værdier af R^* (glat overflade og/eller lav turbulensintensitet) er kurverne næsten sammenfaldende, men for store værdier (ru overflade og/eller høj turbulensintensitet) bliver spredningen stor. Figur B1 viser, at z_{0t} vokser langsommere som funktion af R^* for mindre værdier af R_m . Baseret på en række eksperimenter med søjleversionen af DMI-HIRLAM blev $R_m = 7500$ valgt. Figur 51 i afsnit 3.11.3 giver et indtryk af den vertikale temperaturgradientens følsomhed overfor R_m . Større værdi af R_m giver større forskel mellem overfladetemperaturen og temperaturen i f.eks. 2,3 meters højde.

Specifik fugtighed

Fordampning fra jordoverfladen foregår både fra vegetation og fra den vegetationsfrie del af jordoverfladen. Metoden, som benyttes i DMI-HIRLAM, er beskrevet i Noilhan og Planton (1989) og Bringfelt (1996). I bestræbelserne på at forbedre forudsigelsen af RH er der foretaget en ændring i beregningen af den relative fugtighed ved overfladen (RH_0) for den vegetationsfrie del. Fordampningen fra denne del af overfladen er i DMI-HIRLAM proportional med vindhastigheden i det nederste modelniveau og proportional med differensen i specifik fugtighed ($q_0 - q_N$) mellem overfladen og det nederste modelniveau. Sammenhængen mellem specifik og relativ fugtighed ved overfladen er $q_0 = q_{0s} \cdot RH_0$, hvor q_{0s} er mætningsværdien ved overfladen. Da q_{0s} vokser eksponentielt med temperaturen, er fordampningen fra overfladen stærkt afhængig af, hvordan RH_0 ændrer sig, hvis f.eks. overfladetemperaturen stiger som følge af solopvarmning.



Figur B1. Plot af logaritmen til forholdet mellem ruhedslængde for vind og temperatur (z_{0m}/z_{0t}) som funktion af logaritmen til overflade Reynolds tallet for forskellige værdier af R_m . Den røde kurve er den teoretiske Zilitinkevich kurve $z_{0m}/z_{0t} = \exp(kcR^*/2)$.

Beregningen af RH_0 har formen hvor w_s og w_{smx} er henholdsvis vandindholdet og det maksimalt mulige vandindhold i det øverste jordlag og a og b konstante eksponenter. Formel (4) har den egenskab, at $RH_0=1$ hvis det øverste jordlag er mættet med vand ($w_s = w_{smx}$) og $RH_0=0$, hvis alt vandet er fordampet fra det øverste jordlag ($w_s=0$). Værdierne af a og b bestemmer, hvor hurtigt RH_0 ændrer sig mellem disse to yderpunkter som funktion af w_s . På grundlag af en række eksperimenter med søjleversionen af DMI-HIRLAM med forskellige værdier af eksponenterne a og b, faldt valget på $a=0$ og $b=1$. Det bør dog understreges, at ingen af de udførte eksperimenter gav et fuldt tilfredsstillende resultat. Udover de nævnte eksperimenter blev der også gennemført en serie eksperimenter, hvor RH_0 blev gjort afhængig af solindstrålingen til jordoverfladen. Ved denne metode var det muligt i højere grad at påvirke døgnamplituden på temperaturen end i eksperimenterne baseret på (4). Samtidig blev der imidlertid observeret en uønsket mindre fasefejl på den forudsagte maksimumtemperatur (figur ikke vist).

Turbulens

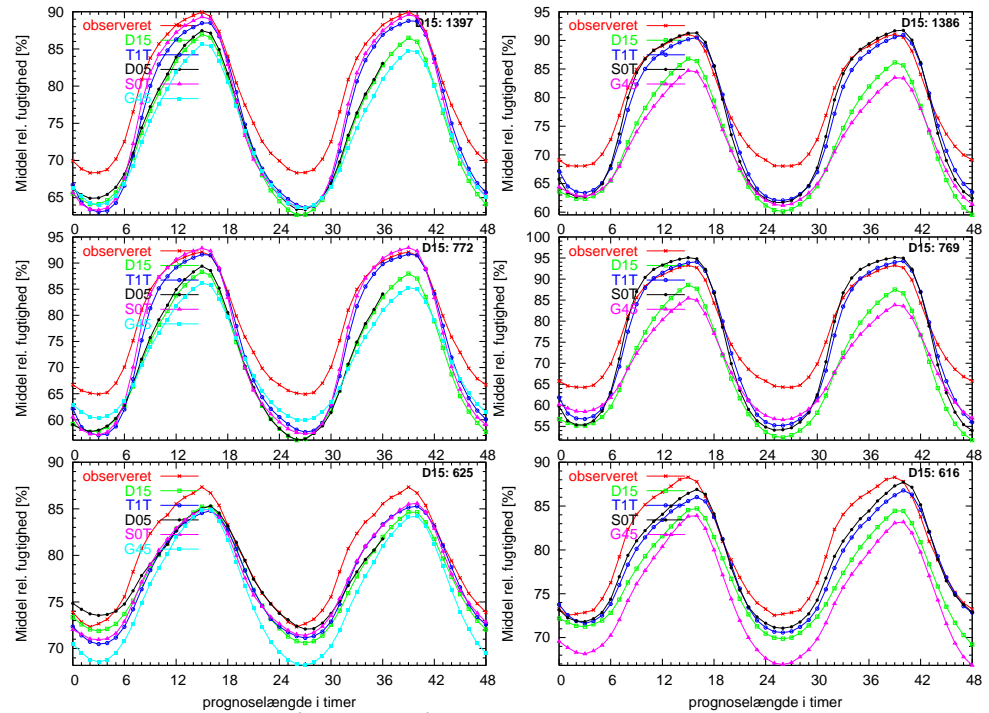
Atmosfærisk turbulens virker analogt til molekylær diffusion, blot er den langt mere effektiv til at udglatte rumlige gradienter i meteorologiske størrelser som vind (u, v), temperatur (θ_v), specifik fugtighed (q) og skyvand (q_l). Turbulens er derfor en meget vigtig fysisk proces i atmosfæren ikke mindst tæt ved jordoverfladen, hvor turbulensen normalt er mest intens. Matematisk er effekten af turbulens i DMI-HIRLAM beskrevet ved

$$(5) \quad \frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (K_\eta \frac{\partial \eta}{\partial z}),$$

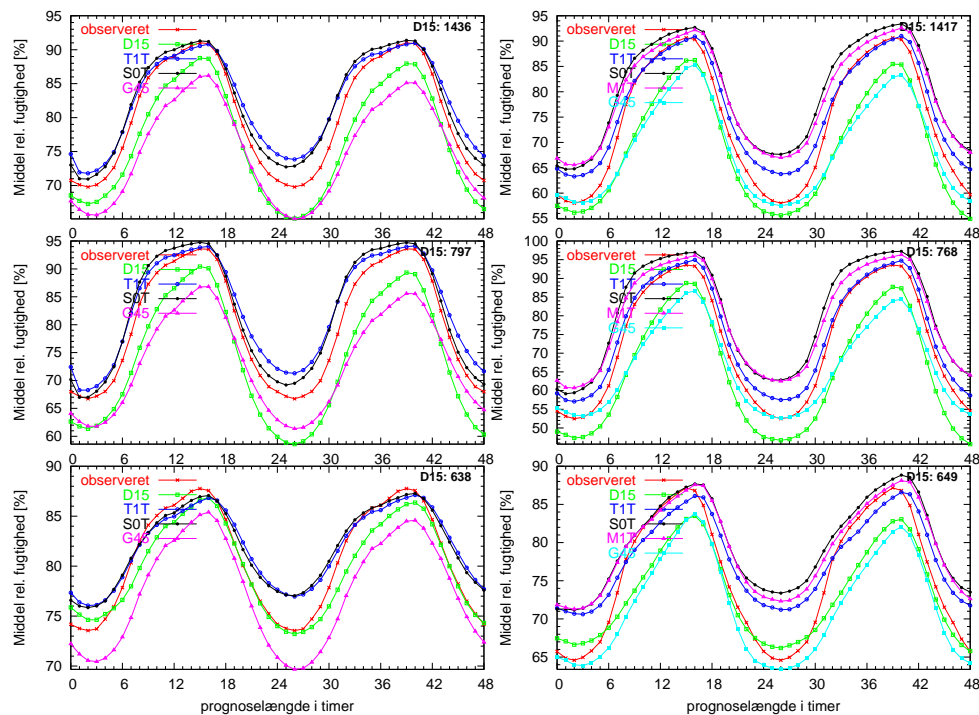
hvor $\eta = u, v, \theta_v, q$ og q_l . Formel (5) er af samme form som formelen for molekylær diffusion. Blot er den molekylære kinematiske viskositetskoefficient ν erstattet af en turbulent udvekslingskoefficient

$$K_\eta = l_\eta \sqrt{E},$$

hvor E er den turbulente kinetiske energi og l_η en turbulent længdeskala, som ofte omtales som mixing længden. I modsætning til ν , der normalt antages at være konstant, er K_η meget variabel, op til 5 størrelsesordner større end ν , og stærkt afhængig af strømningssituationen. Ligesom for u, v, θ_v , q og q_l indeholder modellen en ligning, der beskriver, hvordan E ændrer sig med tiden. Derimod er mixing længden l_η en 'fri' parameter, som beregnes diagnostisk på grundlag af en række beregnede modelparametre. Beregningen af mixing længderne er temmelig kompliceret og foregår i 5 trin. Den foretagne ændring i beregningen af turbulens vedrører 1. trin i beregningen af mixing længderne og består i at indføre en asymptotisk øvre grænse for l_η . Ændringen har indflydelse på, hvor effektivt turbulensen udglatter vertikale gradienter i forskellige niveauer af atmosfæren. En detaljeret matematisk beskrivelse af turbulensskemaet i DMI-HIRLAM, herunder en beskrivelse af beregningen af l_η , findes i Nielsen (2005).



Figur B2a. Observeret (rød kurve) og forudsagt RH2m ved danske målestationer som funktion af prognoselængde i timer for prognoser med begyndelsestidspunkt 12UTC (kl. 14 dansk sommertid) for juni 2005 (tv.) og juni 2006 (th.). Resultater for alle stationer, landstationer og kyststationer vises i henholdsvis øverste, mellemste og nederste del figur. T1T og S0T er operationelle prognoser fra modelsystem M2, sat i operationel drift den 1. juni 2005. G45, D15 og D05 er prognoser fra et ældre modelsystem M0, som kører parallelt med M2.

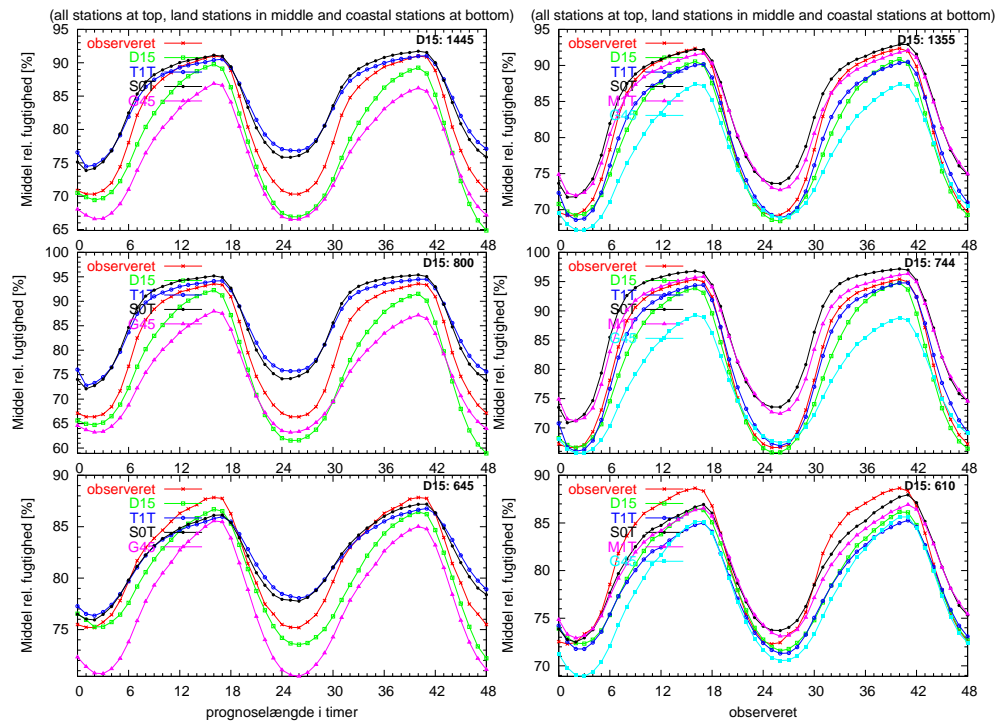


Figur B2b. Observeret (rød kurve) og forudsagt RH2m ved danske målstationer som funktion af prognoselængde i timer for prognoser med begyndelsestidspunkt 12UTC (kl. 14 dansk sommertid) for juli 2005 (tv.) og juli 2006 (th.). Resultater for alle stationer, landstationer og kyststationer vises i henholdsvis øverste, mellemste og nederste del figur. T1T og S0T er operationelle prognoser fra modelsystem M2, sat i operationel drift den 1. juni 2005. G45 og D15 er prognoser fra et ældre modelsystem M0, som kører parallelt med M2. MIT er en eksperimentel version af T1T, som benytter satellitdata fra NOAA18 og har et mindre beregningsområde end T1T.

Verificering af relativ fugtighed for sommeren 2005 og 2006

Figur B2a, b og c viser, at der er variationer fra måned til måned og fra år til år i kvaliteten af RH2m prognoserne. Generelt synes forudsigelsen for landstationerne at være bedre end for kyststationerne.

For kyststationerne er der en tendens til for lav forudsagt RH2m både nat og dag. Undtagelserne er juli 2005 og juli 2006, hvor den forudsagte RH2m er tæt på den observerede i T1T og S0T. For landstationerne er billedet mere 'grumset'. Ved varsling af 'skimmel-vejr' er RH2m om natten og morgenen en vigtig parameter. Forudsigelsen af RH2m for denne periode er generelt bedre i T1T og S0T end i D15 og G45.



Figur B2c. Observeret (rød kurve) og forudsagt RH2m ved danske målestationer som funktion af prognoselængde i timer for prognoser med begyndelsestidspunkt 12UTC (kl. 14 dansk sommertid) for august 2005 (tv.) og august 2006 (th.). Resultater for alle stationer, landstationer og kyststationer vises i henholdsvis øverste, mellemste og nederste del figur. T1T og S0T er operationelle prognoser fra modelsystem M2, sat i operationel drift den 1. juni 2005. G45 og D15 er prognoser fra et ældre modelsystem M0, som kører parallelt med M2. M1T er en eksperimentel version af T1T, som benytter satellitdata fra NOAA18, en amerikansk satellit i polært kredsløb omkring Jorden. M1T har desuden et mindre beregningsområde end T1T.

DMI-HIRLAM

Systemet består af 5 komponenter, henholdsvis præprocessering af observationsdata, analyse, initialisering, prognose og postprocessering af prognosedata.

Prognosemodellen DMI-HIRLAM er et nestet system bestående af en ydre model, HIRLAM-T15, med en horisontal afstand mellem gitterpunkterne på ca. 15 km og en indre model, HIRLAM-S05, med en horisontal opløsning på ca. 5 km. Begge modeller har 40 vertikale lag (41 gitterpunkter i en lodret søjle).

Tværs over den ydre rand kobles T15 til ECMWF analyser og prognoser, mens S05 tilsvarende kobles til T15 analyser og prognoser.

Analysemetoden (3Dvar) er statistisk, baseret på 3-dimensional variationsregning, med 3 timers HIRLAM prognoser som et første gæt. I den resulterende analyse er der i statistisk forstand taget bedst muligt hensyn til både observationer og første gæt.

Ved analyseberegningerne skabes der uønsket "støj" i modelatmosfæren. Initialiseringen fjerner denne små-skala "støj" ved hjælp af et digitalt filter. Selve prognosekørslen startes herefter fra den initialiserede analyse. Prognoselængderne for T15 og S05 er henholdsvis 60 og 54 timer.

Prognosemodellen kan groft opdeles i tre moduler: dynamik, fysik og overflade (herunder processer i og på overfladen).

I dynamikken benyttes semi-Lagrangsk advektion, som muliggør relativt lange tidsskridt i de fremadskridende beregninger uden, at der opstår ødelæggende dynamisk instabilitet, som forhindrer fortsatte beregninger.

Fysik-delen indeholder komplicerede kort- og langbølgede strålingsberegninger og ligeledes komplicerede beregninger af effekten af små-skala (subgrid) fysiske processer på de skalaer, som modellen opløser (det vil sige ca. 30 og 10 km). Sidstnævnte omtales som parameterisering, som primært omfatter turbulens samt dannelse og fordampning af skyer og nedbør.

I overflademodulet foregår den vigtige beregning af energi- og vandbalancen ved jordoverfladen. Vandoverfladen behandles særskilt og betydeligt mere forenklet.

I modellen for energi- og vandbalancen ved jordoverfladen indgår følgende processer: nettostråling ved jordoverfladen, molekyler ledning af varme og fugtighed til og fra overfladen, turbulent transport af varme og fugtighed mellem overfladen og atmosfæren, nedbør, nedsivning og afløb af vand,

frysning/smeltning af vand på og under overfladen, sneakkumulering og smeltning. Beregningerne foretages på grundlag af en inddeling af hvert overflade-gitterbox i 5 fraktioner: vand, is, land uden vegetation, lav vegetation og skov, idet der er specificeret fysiografiske egenskaber for hver af disse fraktioner.

I postprocesseringen beregnes bl.a. et antal parametre, som er afledt af de tidsafhængige basisparametre, som er vindhastighed, temperatur, specifik fugtighed, skyvand og overfladetryk. Prognosedata udskrives i grid-format og en delmængde arkiveres til eventuelt senere brug. Verificering af prognoseparametrene er også en del af postprocesseringen.

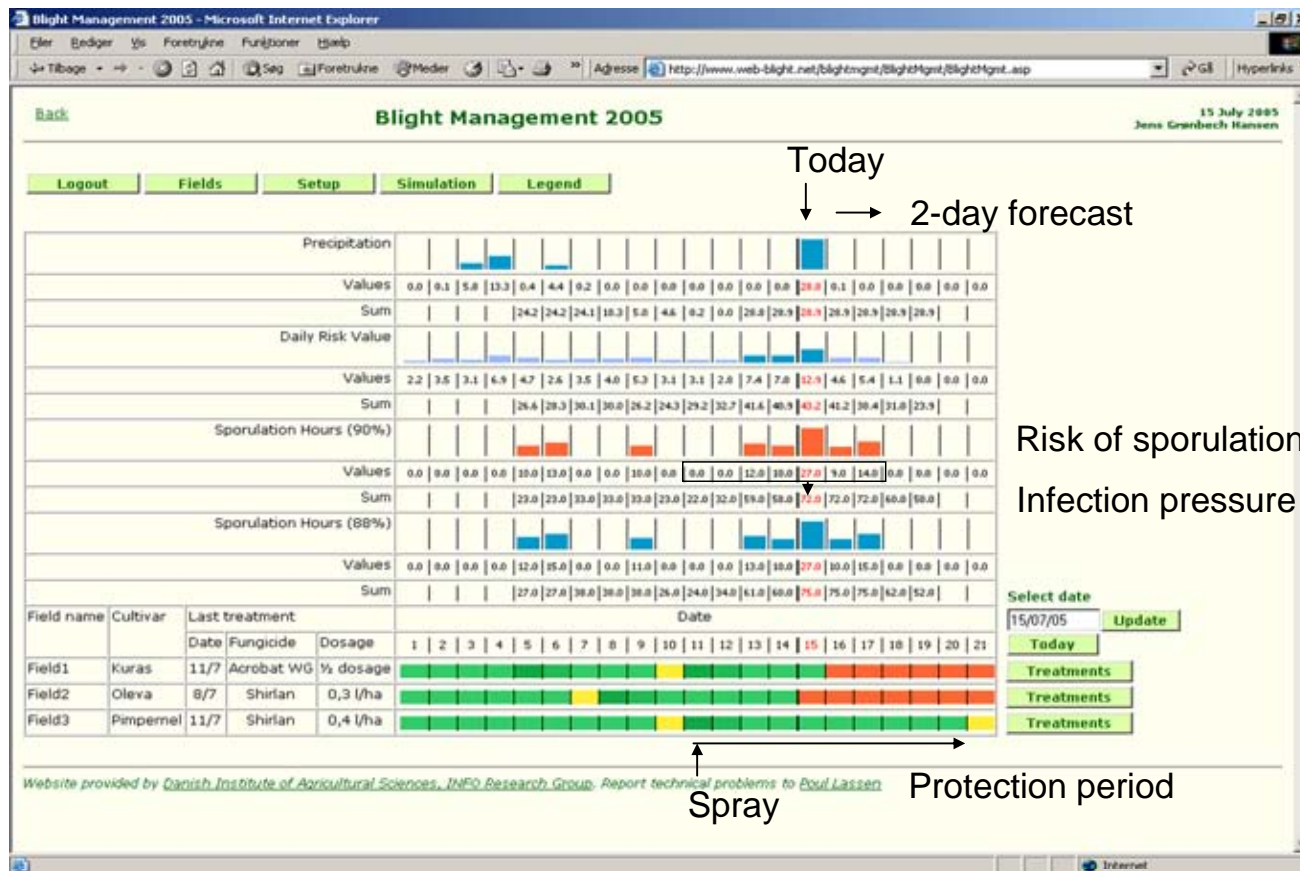
Appendiks D

Tabel D1. Fangst af sporangier i Burkard sporefælde (sporangier/m³/dag) i sorterne Bintje og Oleva samt infektion på udsatte fangpotter. Nedbør (mm/dag), min. og max. temperatur, global stråling (glorad) samt HSPO beregnet efter GRID data og METOS data. Der er desuden beregnet overlevelses indeks og infektionsindeks.

Dato	Sporangiefangster		Infektioner på fangplanter				Nedbør	T-Min	T-Max	Glorad	HSPO GRID88	HSPO METOS	Overlevelse - Indeks		Infektion-Indeks	
	Bintje	Oleva	Bintje_T	Bintje_V	Oleva_T	Oleva_V							A (11)	B (11-14)	A*Bintje	A*Oleva
19-7-2006	0	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	26,3	27,1	0	0	0,0261	0,0000	0,0	0,1
20-7-2006	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	29,5	25,5	0	0	0,0331	0,0000	0,0	0,0
21-7-2006	10	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	20,0	26,2	18,7	0	0	0,0398	0,0001	0,4	0,0
22-7-2006	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,9	24,7	18,2	0	0	0,1089	0,0002	0,0	0,0
23-7-2006	5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	27,6	16,3	10	13	0,0410	0,0003	0,2	0,0
24-7-2006	62	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,7	25,4	18,2	10	11	0,1828	0,0012	11,4	0,0
25-7-2006	31	0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	25,5	27,0	0	0	0,0257	0,0000	0,8	0,0
26-7-2006	16	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	27,1	26,4	0	0	0,0296	0,0000	0,5	0,0
27-7-2006	187	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	28,6	24,6	0	0	0,0319	0,0000	6,0	0,0
28-7-2006	78	0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	18,5	24,3	7,9	13	15	0,4524	0,0965	35,3	0,0
29-7-2006	1872	0	62,5	0,0	0,0	0,0	1,8	16,4	25,4	15,9	12	12	0,1313	0,0017	245,8	0,0
30-7-2006	2486	5	91,0	1,3	0,0	0,0	0,0	14,6	26,2	22,3	10	12	0,0782	0,0002	194,3	0,4
31-7-2006	52	0	63,8	0,0	0,0	0,0	17,7	17,8	23,6	15,6	0	10	0,0810	0,0006	4,2	0,0
1-8-2006	5	0	68,8	1,3	0,5	0,0	0,0	13,1	24,5	21,3	0	0	0,0799	0,0003	0,4	0,0
2-8-2006	26	5	50,0	16,3	0,8	0,0	9,1	15,7	19,0	10,1	0	10	0,3453	0,0112	9,0	1,8
3-8-2006	5013	0	72,5	17,5	7,5	0,3	2,1	12,4	21,7	20,7	0	10	0,0704	0,0002	353,0	0,0
4-8-2006	10478	88	91,3	100,0	45,0	40,0	0,0	11,1	23,7	16,9	0	10	0,1084	0,0057	1135,7	9,6
5-8-2006	4243	16	98,8	78,8	85,0	8,8	12,0	14,4	25,1	21,2	11	12	0,0416	0,0003	176,4	0,6
6-8-2006	681	16	45,0	3,8	5,0	2,0	0,0	13,9	26,4	23,4	0	0	0,0352	0,0000	24,0	0,5
7-8-2006	931	16	6,3	21,3	1,3	2,5	0,0	14,7	24,6	20,9	0	0	0,0290	0,0001	27,0	0,5
8-8-2006	218	21	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	15,0	24,3	21,7	0	0	0,0297	0,0000	6,5	0,6
9-8-2006	478	307	0,0	2,3	1,0	2,6	0,0	13,6	20,7	13,8	0	0	0,0610	0,0026	29,2	18,7
10-8-2006	73	1295	80,0	12,5	97,5	62,5	12,0	13,9	20,2	16,9	10	10	0,0689	0,0001	5,0	89,2
11-8-2006	130	1066	95,0	3,0	92,5	77,5	0,0	10,0	20,0	9,5	0	10	0,2480	0,0254	32,2	264,3
12-8-2006	187	395	90,0	47,5	100,0	75,0	25,1	13,5	19,4	8,3	17	18	0,3379	0,0461	63,2	133,5
13-8-2006	31	52	81,3	66,3	100,0	100,0	0,4	12,4	18,3	5,5	27	26	0,4746	0,1234	14,8	24,7
14-8-2006	47	536	15,0	6,6	100,0	27,5	7,6	14,5	17,5	8,4	8	10	0,3544	0,0211	16,6	189,8
15-8-2006	21	140	86,3	17,5	97,5	67,5	16,6	14,0	19,2	9,7	15	16	0,1439	0,0032	3,0	20,2
16-8-2006	31	52	15,8	2,0	16,3	1,0	5,1	14,3	19,8	19,2	0	0	0,0799	0,0009	2,5	4,2
17-8-2006	52	2116	28,5	2,9	42,5	38,8	0,0	12,8	21,8	14,9	10	11	0,0306	0,0028	1,6	64,9
18-8-2006	104	827	36,3	21,3	67,5	63,8	0,4	12,8	23,5	15,8	12	14	0,0456	0,0010	4,7	37,7
19-8-2006	47	2137	37,5	8,0	98,8	50,0	2,1	16,3	22,8	19,6	12	12	0,0403	0,0001	1,9	86,2
20-8-2006	10	1144	25,0	12,0	93,8	78,8	0,1	14,6	21,6	13,6	10	11	0,1167	0,0020	1,2	133,5
21-8-2006	0	312	-	-	-	-	0,6	14,0	19,6	13,0	10	12	0,1477	0,0072	0,0	46,1
22-8-2006	16	166	-	-	-	-	1,1	14,6	21,0	15,0	11	13	0,0976	0,0007	1,5	16,2
23-8-2006	0	135	-	-	-	-	0,2	15,6	19,0	10,3	10	0	0,1796	0,0113	0,0	24,3
24-8-2006	0	42	-	-	-	-	0,0	11,1	21,1	18,6	0	0	0,0689	0,0001	0,0	2,9

Figur E1. Opsætning af BM på projekthjemmeside til brug for bestemmelse af daglig infektionsrisiko og aktual doseringsvalg.

Blight Management on Internet



Tabel F1. MODEL til styring af fungiciddosering i Blight Management. HSPO er forklaret i afsnit 2.8.

Susceptible cultivars						
	Before attack in the region In the cultivar or in Cultivars with similar resistance		After attack in the region In the cultivar or in Cultivars with similar resistance		After attack in the local area/trial plot In the cultivar or in Cultivars with similar resistance	
HSPO SUM	Dosage of Shirlan l pr. ha.	Number of days With full protection	Dosage of Shirlan l pr. ha.	Number of days with full protection	Dosage of Shirlan l pr. ha.	Number of days with full protection
>70	0.4	7	0.4	7	0.4	5
41 – 70	0.3	7	0.3	7	0.4	7
26 – 40	0.2	7	0.2	7	0.3	7
11-25	0.1	7	0.1	7	0.2	7
<11	0	Wait for blight weather	0	Wait for blight weather	0.1	7
Moderate susceptible cultivars						
HSPO SUM	Dosage of Shirlan l pr. ha.	Number of days With full protection	Dosage of Shirlan l pr. ha.	Number of days with full protection	Dosage of Shirlan l pr. ha.	Number of days with full protection
>70	0.35	7	0.4	7	0.4	5
41 – 70	0.3	7	0.3	7	0.4	7
26 – 40	0.2	7	0.2	7	0.3	7
11-25	0.1	7	0.1	7	0.2	7
<11	0	Wait for blight weather	0	Wait for blight weather	0.1	7
Moderate resistant cultivars						
HSPO SUM	Dosage of Shirlan l pr. ha.	Number of days With full protection	Dosage of Shirlan l pr. ha.	Number of days with full protection	Dosage of Shirlan l pr. ha.	Number of days with full protection
>70	0.25	7	0.4	7	0.4	5
41 – 70	0.2	7	0.3	7	0.4	7
26 – 40	0.1	7	0.2	7	0.3	7
11-25	0	Wait for blight weather	0.1	7	0.2	7
<11	0	Wait for blight weather	0	Wait for blight weather	0.1	7

Beregning af fungiciddosis (Shirlan) ud fra angreb af kartoffelskimmel i mark eller område samt størrelse af infektionstrykket (HSPO sum for 5 foregående dage + 2 dage prognose).

RH måling og klimastationer

DMI stationer

I PlanteInfo kan man verificere kvaliteten af målingerne for relativ luftfugtighed (RH) ved at sammenligne én stations målinger fra nærliggende stationer. I 2005 er vejrdato til data-analyse justeret med 2%, da forskellen til omkringliggende stationer var ca. 2% lavere i juli og august. Konsekvensen var i 2005, at bekæmpelsen af skimmel ved Flakkebjerg var en smule lavere, end den skulle have været. Det har ikke været nødvendigt at justere data for 2006.

Stationer

Til projektet blev der indkøbt nye mobile vejrstationer af mærket Metos til opsætning ved de tre steder, hvor der skulle være forsøg i 2005 og 2006. Det drejer sig om Flakkebjerg på Sjælland, Ytteborg i Midtjylland og LandboNord i Nordjylland. Metos stationen måler temperatur, luftfugtighed, nedbør, bladfugtighed, vindretning og vindhastighed samt globalstråling. Data måles hver 10. minut, men kun timeværdier gemmes. Stationen er uden datalogger, og data sendes ca. hver 2. time til en server i Østrig. I projektet er der udviklet en metode til at trække data herfra automatisk til en server ved Aarhus Universitet, hvor de er blevet anvendt til operationelle beregninger i det beslutningsstøttesystem, som er under udvikling. Metos stationerne var ikke driftsikre i 2005, bl.a. fordi RH sensoren viste sig at måle meget forkert. Til sæsonen 2006, blev alle RH sensorer skiftet til et andet fabrikat - Rotronic. Disse sensorer har fungeret fuldt tilfredsstillende sammenlignet med målinger ved de officielle DMI stationer (Vaisala sensorer).

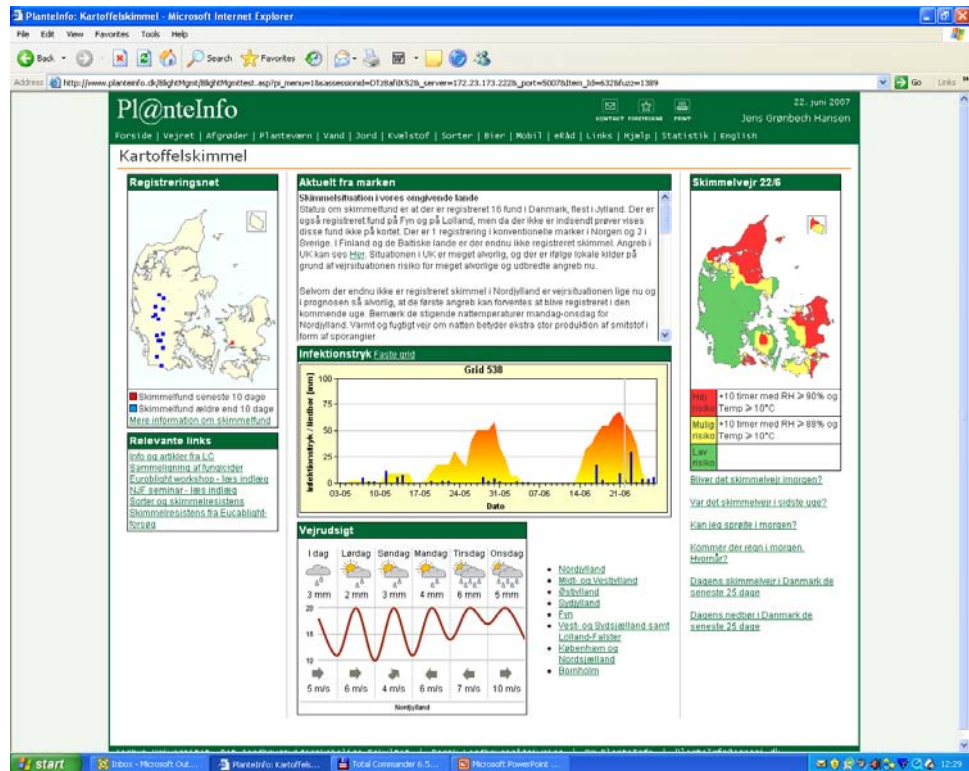
Der måles bladfugtighed ved DMI stationer, men disse målinger er usikre på grund af hurtig korrosion af sensorelementet og dermed usikre resultater. Derfor er der anvendt bladfugtighed fra Metos stationerne i alle analyser, også de analyser, hvor temperatur og luftfugtighed er anvendt fra DMI stationen ved Flakkebjerg.

Implementering i Planteinfo 2007

Beregning af infektionstryk indgår i Planteinfo (www.planteinfo.dk), som rådgivningsværktøj til konsulenter og landmænd. Implementering og opbygning af skimmelinformation på Planteinfo er ikke en del af REFUKA projektet.

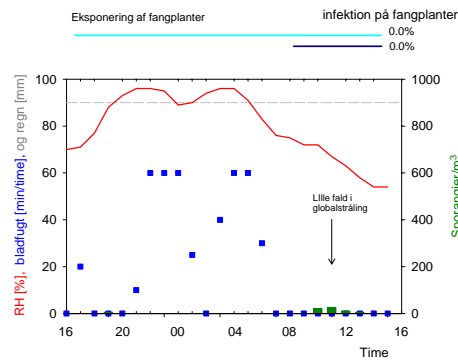
Baseret fra resultater fra REFUKA og nordisk samarbejdsprojekt (Norphyt) om validiteten af Blight Management, blev det før sæsonen 2007 besluttet i første omgang kun at implementere beregning af infektionstryk i PlanteInfo. Beregning af Infektionstryk blev integreret med en lang række andre beslutningsstøtte komponenter i PlanteInfo (figur H1).

Et screen dump fra den 22. juni viser i øverste venstre hjørne registrering af tidlige fund af skimmel den 5.-8. juni. Dette var sammenfaldende med et højt infektionstryk i sidste uge af maj måned. Da perioden fra infektion til visuelle læsioner er ca. en uge, passer det med, at der er sket infektioner sidst i maj, som er fundet i første uge af juni. Øverst til højre ses en regional beregning af dagens skimmelvej, baseret på beregning af HSPO. Øverst midt for, vises indberetninger om skimmeludvikling i praktiske marker inklusive vejledning om, hvordan beslutningsstøtten på siden kan anvendes til at vurdere et bekæmpelsesbehov. Der er yderligere link på siden til fungicidininformation, nedbørsprognose, prognose for skimmelvej m.m.

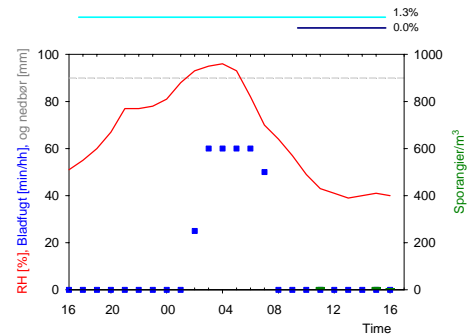


Figur H1. Implementering af beslutningsstøtte om kartoffel skimmel til sæsonen 2007 i PlantInfo. Beregning af infektionstryk ses på midten af siden for GRID 538. Når man logger på, ved systemet, hvor man bor, og de tilhørende grid-data anvendes til beregninger af infektionstryk. Øverst til højre ses data fra registreringsnettet for tidlige fund af skimmel. Øverst til venstre ses den regionale beregning af dagens risiko for skimmelvejr.

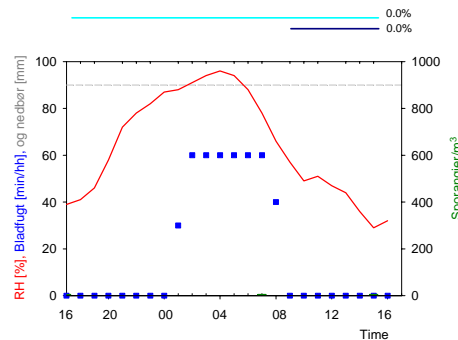
Nedenfor i figur I1-I5 er vist dag for dag information om sammenhængen mellem sporangiefrigørelse (tidspunkt og mængde) og infektion på fangplanter, sammenholdt med relativ luftfugtighed, nedbør og bladfugt. Der er brugt data fra Flakkebjerg klimastationen undtagen for bladfugt, som er taget fra Metos. Risikoen for sporangiedannelse er som angivet daglige HSPO-værdier. Jo højere værdien er, jo bedre har betingelserne for sporangiedannelse været. Den tilsvarende beregning med data fra Metos er angivet i parentes. For nærmere forklaring se også tekst i afsnit 3.6 og figur 30-34. Det bemærkes, at der sidst i den tørre juli kom regn den 27. juli, og efter et døgn var læsionerne aktiveret og sporer spredt (figur I1).



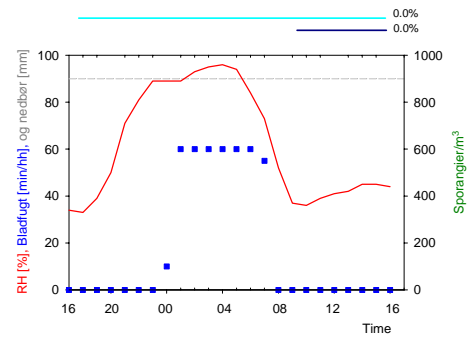
23. Juli 16:00 til 24. Juli 16:00 HSP0=11 med data fra GRID 1585. HSP0 =11 med vejr data fra Metos vejrstation



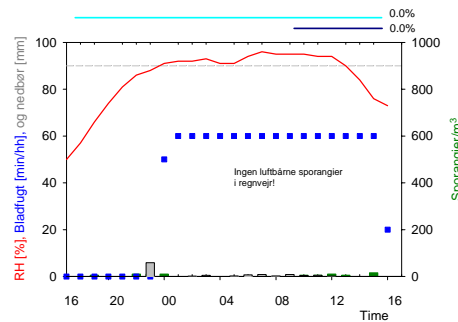
24. Juli 16:00 til 25. Juli 16:00 HSP0 (GRID)=0. HSP0 (Metos)=0



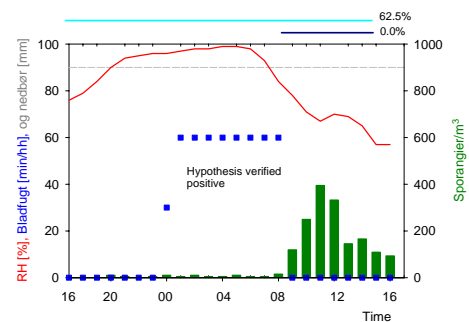
25. Juli 16:00 til 26. Juli 16:00 HSP0 (GRID)=0. HSP0 (Metos)=0



26. Juli 16:00 til 27. Juli 16:00 HSP0 (GRID)=0. HSP0 (Metos)=0

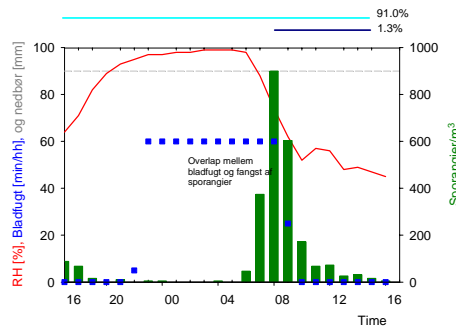


27. Juli 16:00 til 28. Juli 16:00 HSP0 (GRID)=14. HSP0 (Metos)=15

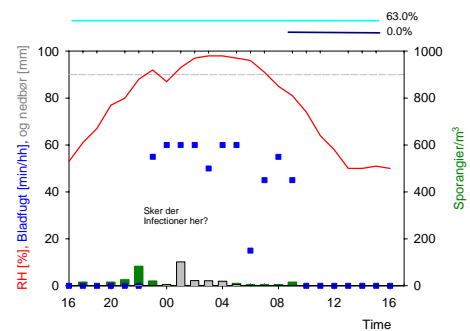


28. Juli 16:00 til 29. Juli 16:00 HSP0 (GRID)=13. HSP0 (Metos)=12

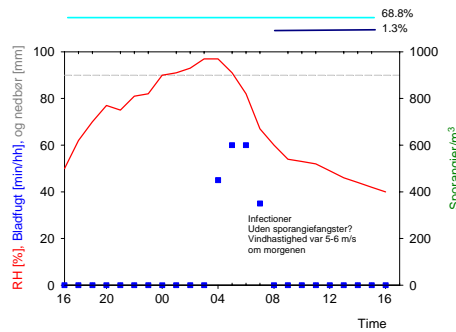
Figur I1. Sporangiefangster og infektion på fangplanter sammenholdt med RH, bladflugt og nedbør på timeniveau. Flakkebjerg 23- juli til 29. juli 2006, *Bintje*. Forklaring se figur 32.



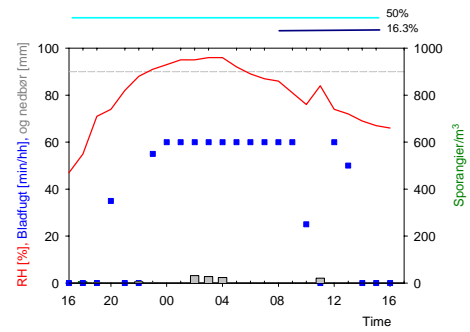
29. Juli 16:00 til 30. Juli 16:00
HSPO (GRID)=11. HSPO (Metos)=12



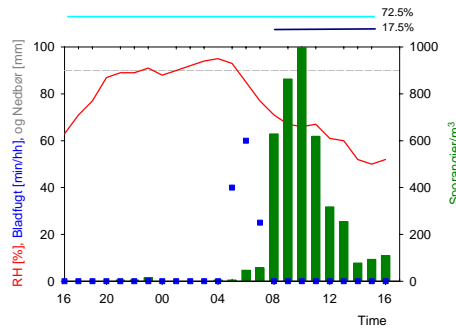
30. Juli 16:00 til 31. Juli 16:00
HSPO (GRID)=10. HSPO (Metos)=10



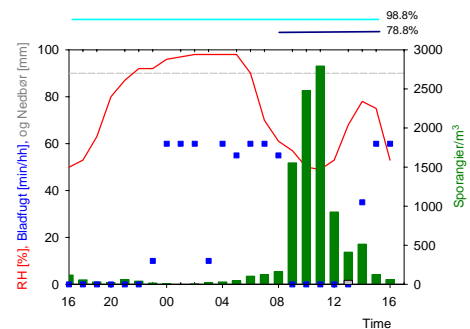
31. Juli 16:00 til 1. August 16:00
HSPO (GRID)=0. HSPO (Metos)=0.



1. August 16:00 til 2. August 16:00
HSPO (GRID)=0. HSPO (Metos)=10

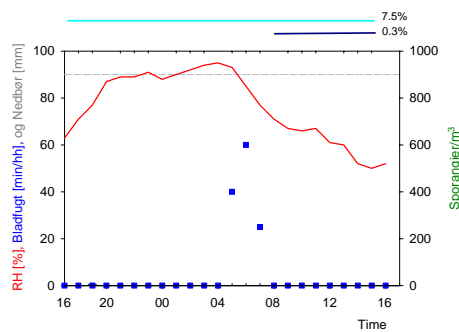


2. August 16:00 to 3. August 16:00
HSPO (GRID)=0. HSPO (METOS)=10)

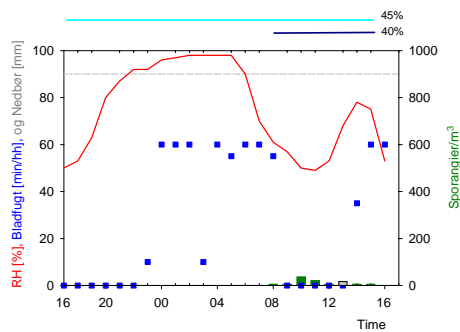


3. August 16:00 to 4. August 16:00
HSPO (GRID)=0. HSPO (METOS)=10

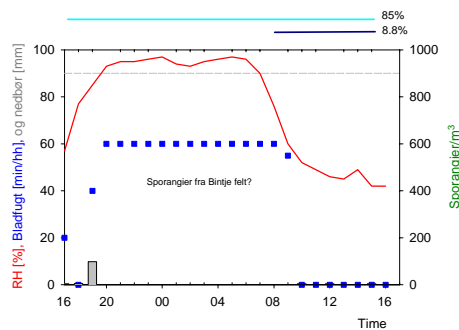
Figur I2. Sporangiefangster og infektion på fangplanter sammenholdt med RH, bladfugt og nedbør på timeniveau. Flakkebjerg 30. juli til 4. august 2006, *Bintje*. Forklaring se figur 32.



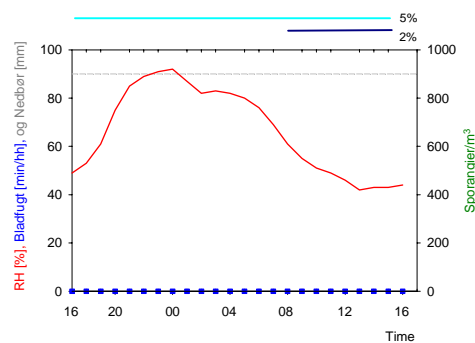
2. August 16:00 til 3. August 16:00
 HSPO (GRID)=0. HSPO (METOS)=10



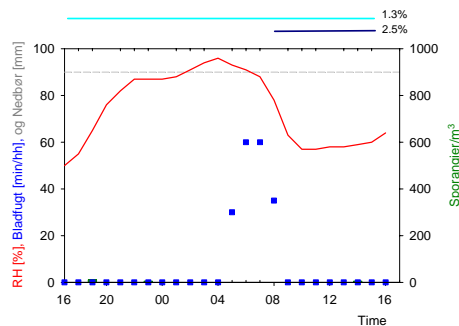
3. August 16:00 til 4. August 16:00
 HSPO GRID)=0. HSPO (METOS)=10



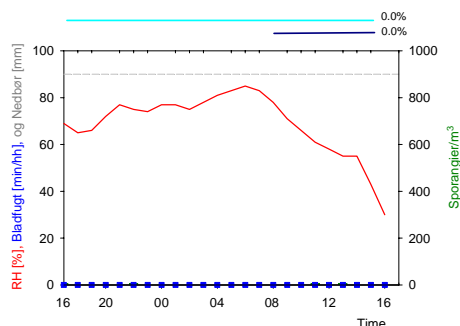
4. August 16:00 til 5. August 16:00
 HSPO (GRID)=11. HSPO (METOS)=12



5. August 16:00 til 6. August 16:00
 HSPO (GRID)=0. HSPO (METOS)=0

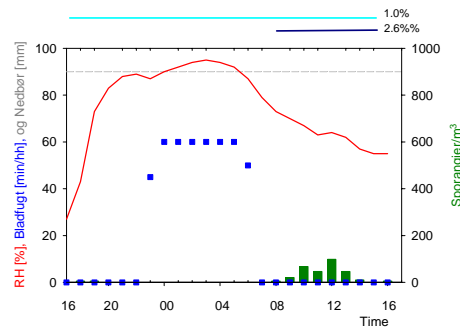


6. August 16:00 til 7. August 16:00
 HSPO (GRID)=0. HSPO (METOS)=0

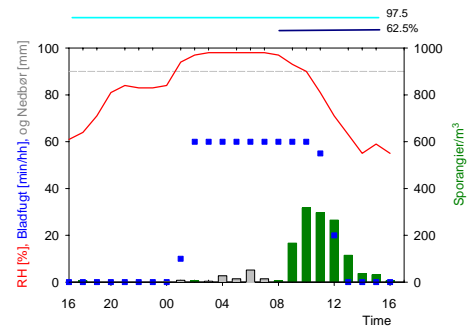


7. August 16:00 til 8. August 16:00
 HSPO (GRID)=0. HSPO (METOS)=0

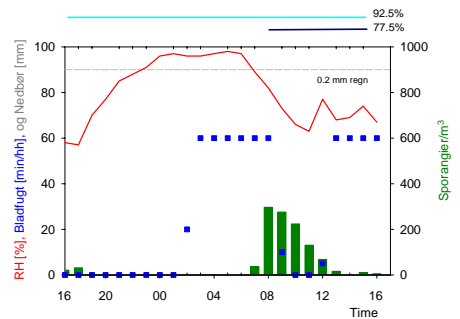
Figur I3. Sporangiefangster og infektion på fangplanter sammenholdt med RH, bladflugt og nedbør på timeniveau. Flakkebjerg 2. august til 8. august 2006, *O/e*va. Forklaring se figur 32.



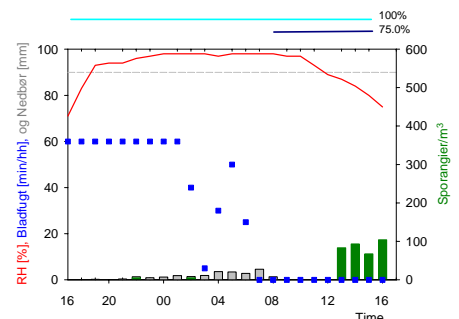
8. August 16:00 til 9. August 16:00
HSPO (GRID)=0. HSPO (METOS)=0



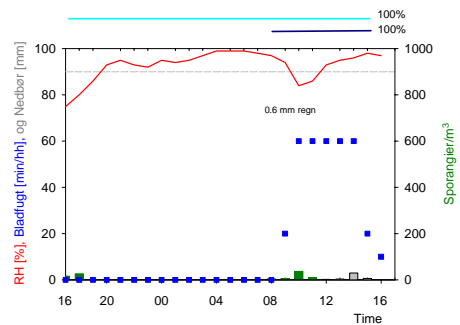
9. August 16:00 til 10. August 16:00
HSPO (GRID)=10. HSPO (METOS)=0



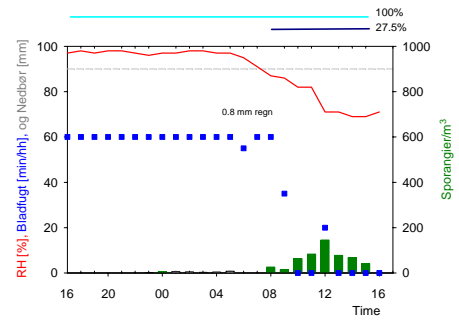
10. August 16:00 til 11. August 16:00
HSPO (GRID)=10. HSPO (METOS)=10



11. August 16:00 til 12. August 16:00
HSPO (GRID)=18. HSPO (METOS)=18

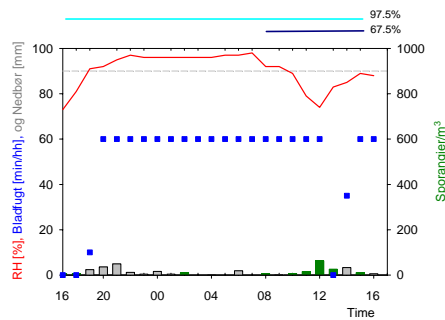


12. August 16:00 til 13. August 16:00
HSPO (GRID)=23. HSPO (METOS)=26

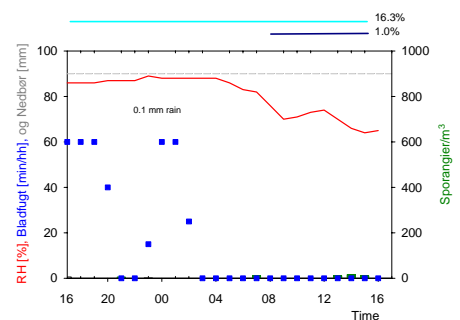


13. August 16:00 til 14. August 16:00
HSPO (GRID)=7. HSPO (METOS)=10

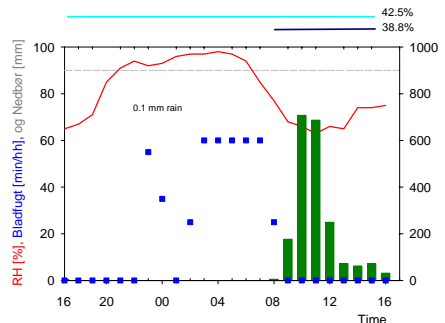
Figur I4. Sporangiefangster og infektion på fangplanter sammenholdt med RH, bladflugt og nedbør på timeniveau. Flakkebjerg, 8. august til 14. august 2006, *Olea*. Forklaring se figur 32.



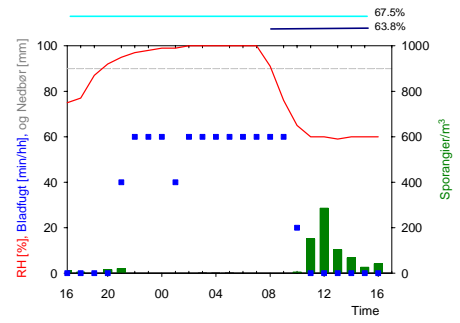
14. August 16:00 til 15. August 16:00
 HSPO (GRID)=15. HSPO (METOS)=16



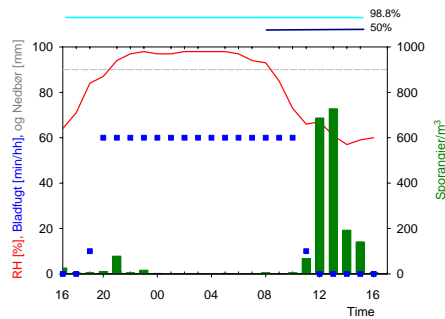
15. August 16:00 til 16. August 16:00
 HSPO (GRID)=0. HSPO (METOS)=0



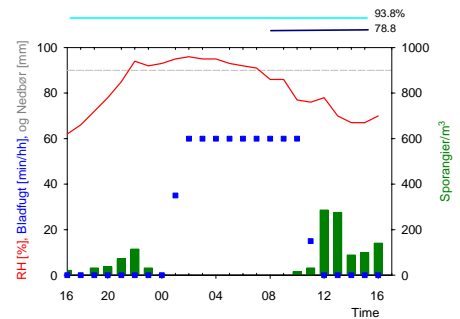
16. August 16:00 til 17. August 16:00
 HSPO (GRID)=10. HSPO (METOS)=11



17. August 16:00 til 18. August 16:00
 HSPO (GRID)=12. HSPO (METOS)=14



18. August 16:00 til 19. August 16:00
 HSPO (GRID)=12. HSPO (METOS)=12



19. August 16:00 til 20. August 16:00
 HSPO (GRID)=10. HSPO (METOS)=11

Figur I5. Sporangiefangster og infektion på fangplanter sammenholdt med RH, bladflugt og nedbør på timeniveau. Flakkebjerg, 14. august til 20. august 2006, *Olea*. Forklaring se figur 32.

Projektets formidling og publikationer

Bødker L., 2006. Dyrkning af kartofler. Oversigt over Landsforsøgene 2006.

Hansen, J. G. & Nielsen, B. N. Kartoffelproduktion, Juni 2005. Intensiv Forskning om Kartoffelskimmel, Kartoffelproduktion 3, 14-16.

Hansen, J. G., Nielsen B. J., Bødker, L., Andersson, B., Yuen, J., Wiik, L., Hermansen, A., Nærstad, R., Le, V.H., Bruberg, M. B., Hanukkala, A., & Lehtinen, A. 2006. Blight management in the Nordic countries. Proceedings of the Ninth Workshop of an European network for development of an integrated control strategy of potato late blight, Tallinn, Estonia, 19th - 23rd October, 2005. PPO-Special Report (Applied Research Wageningen) no. 11, 39-52.

Hansen, J. G., Nielsen, B. J., og Hansen, H. 2007. Status vedrørende beslutningsstøtte for skimmelbekæmpelse. Plantekongres 2007. Dansk Landbrugsrådgivning og Danmarks JordbrugsForskning, 333-334.

Nilsen, B.J., Hansen, J.G., Thysen, I., Woetemann, N., Bødker, L., Broge, N.H., Møller, L. 2006. Spredning af kartoffelskimmel og nye planteværnsmodeller. Plantekongres 2006, 286-287.

Nielsen, B. J., Hansen, J. G., Thysen, I., Nielsen, N. W., Bødker, L., Møller, L., Hansen, H., Bruun, S., Lilholt, J., Larsen, A-P., Thi, H. A. P., Pinnschmidt, H. og Ravnskov, S. 2007. Skimmelsporer – betingelser for spredning og infektion. Plantekongres 2007. Dansk Landbrugsrådgivning og Danmarks JordbrugsForskning, 335-337.

Nielsen, B.J., Hansen, J.G., Pinnschmidt, H., Nærstad, R., Hermansen, A., Vinh Hong Le and Hannukkala, A. 2007. Studies of release and infectivity of *Phytophthora infestans* sporangia under field conditions. Proceedings of the 10th Workshop of an European network for development of an integrated control strategy of potato late blight, Bologna, Italy. PPO-Special Report No. 12 (Applied Research Wageningen), **211-219**.

Møller, L., 2005. Dyrkning af kartofler. Oversigt over Landsforsøgene 2005.

- 0 -

Projektet og de foreløbige resultater blev fremlagt på Blight Workshop, Tallinn, 2005 samt Bologna, 2007 (European network for the development of an integrated control strategy of potato late blight). Projektets resultater vil desuden blive præsenteret på "Third International Late Blight Conference",

Beijing, Kina 3-6 april 2008 med indlæg ” Release and infectivity of *Phytophthora infestans* sporangia under field conditions”.

Resultater og diskussion er desuden fremlagt på Plantekongressen i Herning 2006 og 2007.