



5 MRS. 1992

Mikroklima i kartofler i relation til kartoffelskimmel

*Microclimate in Potatoes in relation to Potato Late
Blight (Phytophthora infestans (Mont.) de Bary)*

Jens Grønbech Hansen
Afdeling for Jordbrugsmeteorologi
Forskningscenter Foulum
8830 Tjele

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

Beretning nr. S 2180 - 1992



Mikroklima i kartofler i relation til kartoffelskimmel

*Microclimate in Potatoes in relation to Potato Late
Blight (Phytophthora infestans (Mont.) de Bary)*

Jens Grønbech Hansen
Afdeling for Jordbrugsmeteorologi
Forskningscenter Foulum
8830 Tjele

Forord

Undersøgelserne af mikroklima i kartofler er foretaget som et delprojekt af et fælles nordisk projekt med titlen: "Minimeret anvendelse af kemiske midler i kartoffeldyrkningen". Koordinator for dette projekt var Börje Olofsson, Inst. f. Växt- och Skogsskydd, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Udover at Nordisk Ministerråd (NM) har ydet økonomisk støtte, er undersøgelserne finansieret af Afdeling for Jordbrugsmeteorologi's ordinære program: "Meteorologiske forhold og plantepatologi".

Der skal rettes en tak til Ege Friis for teknisk bistand i forbindelse med datalogning og programmering. Søren Holm takkes for hjælp ved sygdomsbedømmelser samt for mange frugtbare diskussioner vedrørende kartoffelskimmel. Ege Friis, Søren Holm og Lisa Munk har bidraget med konstruktiv kritik og forslag til manuskriptet.

Jens Grønbech Hansen

Foulum, januar 1992

Indholdsfortegnelse

Forord	3
Resumé	6
Summary	8
1 Indledning	10
1.1 Det biologisk/meteorologiske grundlag for prognose/varsling for kartoffelskim- mel	10
1.1.1 Primærangreb og sygdomsudvikling	10
1.1.2 Sporedannelse	11
1.1.3 Sporefrigørelse og spredning	11
1.1.4 Spiring og infektion	11
1.1.5 "Skimmelvej"	11
1.2 Negativ prognosen	12
2 Materialer og metoder	14
2.1 Forsøgsmarker	14
2.2 Meteorologisk måleprogram og dataopsamling	14
2.3 Biologiske registreringer	14
3 Resultater	15
3.1 Udvikling af kartoffelskimmel, bladarealudvikling og standard meteorologiske forhold	15
3.2 Temperaturmålinger i kartofler	18
3.2.1 Temperaturprofiler	18
3.2.2 Forskel mellem gentagelser	20
3.2.3 Frekvensfordeling	22
3.2.4 Forskel mellem rækkeafstande	24
3.2.5 Forskel mellem afgrøden og 2 m højde	25
3.3 Overfladefugtmålinger	25
3.3.1 Sammenligning mellem tør og fugtig periode	25
3.3.2 Variation gennem døgnet	27
3.3.3 Sammenligning mellem afgrøde og 2 m	30
3.4 Validering af Negativ-prognosen	30
3.5 Anvendelse af mikroklimadata i Negativ-prognosen	32

Diskussion	38
Litteratur	43

Resumé

Formålet med dette projekt var at undersøge, om man ved at øge rækkeafstanden fra 75 cm (praksis i DK) til 110 cm kunne skabe et mindre gunstigt mikroklima for kartoffelskimmel, og dermed reducere behovet for kemisk bekæmpelse.

Negativ-prognosen, en model til prognose/varsling for kartoffelskimmel, blev valideret på basis af ordinære meteorologiske data og observationer af primærangreb af kartoffelskimmel. Anvendelsen af mikroklimadata som input til prognose/varslingsmodeller for kartoffelskimmel diskuteres. I den forbindelse blev sammenhængen mellem mikroklimaet i afgrøden og målinger i standardhøjden 2 m analyseret.

I løbet af vækstsæsonerne 1987-89 blev der foretaget målinger af mikroklima i to 0.25 ha kartoffelmarker med en rækkeafstand på henholdsvis 110 cm og 75 cm. Temperatur og overfladefugtighed blev målt i tre niveauer i afgrøden og i standardhøjden 2 m. Mikroklimaet i de to marker med forskellig rækkeafstand blev sammenlignet og relateret til udviklingen af kartoffelskimmel.

I 1988 blev der foretaget målinger hver time i begge rækkeafstande i perioden fra 1. juni til 27. juli. I 90 procent af de 1368 observationer af temperatur var forskellen mellem målinger i stor og lille rækkeafstand mindre end ca. 0.5-1.0 °C afhængig af sensorernes placering i afgrøden.

Variationen mellem gentagelser af målinger af overfladefugt var generelt større end de respektive temperaturmålinger. For perioden 1. juni til 27. juli 1988 kunne der dog ikke måles nogen markant forskel mellem de to rækkeafstande i antallet af timeobservationer af overfladefugt. I rækkeafstand 110 cm blev der i tre forskellige niveauer i afgrøden målt mellem 449 og 537 timer med overfladefugt. I rækkeafstand 75 cm blev der tilsvarende målt mellem 490 og 534 timer med overfladefugt.

I to af fire år blev de første symptomer af kartoffelskimmel observeret i marken med rækkeafstand 110 cm, i ét år i marken med rækkeafstand 75 cm og i ét år i begge rækkeafstande samtidigt. Der kunne ikke observeres nogen forskel mellem rækkeafstandene i hastigheden af den epidemiske sygdomsudvikling. Rækkeafstandens betydning for udviklingen af kartoffelskimmel var dermed ikke entydig.

Sammenholdes mikroklimamålingerne med observationerne af kartoffelskimmel, konkluderes det, at de makrometeorologiske forhold i perioden har haft en relativt dominerende betydning for skimmeludviklingen i de to marker. Dette udelukker dog ikke, at en øget rækkeafstand under marginale meteorologiske betingelser kan have en effekt på kartoffelskimmels etablering og udvikling.

Temperaturen måles som standard i 2 m højde, Derfor har en analyse af forskellen mellem mikroklima og standard meteorologiske målinger interesse, f.eks. i forbindelse med anvendelsen af modeller for sygdomsudvikling. I dataanalysen blev timemålingerne af temperatur opdelt i målinger, hvor der henholdsvis samtidig og ikke samtidig var målt overfladefugt.

Forskellen mellem temperaturen i afgrøden (10 cm over kammen) og 2 m var for de tørre timer mellem -0.6 og 4.1 °C (5 % og 95 % fraktil). Den tilsvarende forskel for våde timer var mellem -0.5 og 1.3 °C.

Da en opformering af kartoffelskimmel antages primært at foregå i våde perioder, anses en anvendelse af temperaturmålinger i 2 m til modeller for sygdommens udvikling at være acceptabel.

Antal timer med overfladefugt i forskellige niveauer i afgrøden blev analyseret for hhv. en uge med nedbør og en uge med tørvejr. I den tørre periode var varigheden af overfladefugt (dug) om natten ofte længere på sensorer placeret i 45 cm over kammen end på sensorer nede i afgrøden. Omvendt blev der i perioden med nedbør, hyppigst registreret flere timer med overfladefugt på sensorer i bunden af afgrøden. Da frit vand på bladene er afgørende for sporenes spiring og infektion kan de aktuelle meteorologiske forhold være bestemmende for, hvor på planterne angrebet af kartoffelskimmel starter. I 1990 og 1991 blev de første symptomer af kartoffelskimmel observeret som stængelangreb i toppen af én eller få planter. En relativ længerevarende dugdannelse her og resulterende dugsamlinger ved bladstilkens basis kan være en medvirkende årsag til dette fænomen.

I perioden 1987-91 ved Foulum angav Negativ-prognosen rettidigt tidspunkt for start af forebyggende kemisk behandling mod kartoffelskimmel. Resultaterne i denne undersøgelse støtter anvisningen for modellen om, at standard meteorologiske data og ikke mikroklimadata bør anvendes som input til modellen.

Nøgleord: kartoffelmarker, kartoffelskimmel, temperatur, overfladefugt, sygdomsudvikling, Negativ-prognose.

Summary

The aim of this project was to investigate if an increased row spacing in potatoes could provide a less favourable microclimate for potato late blight, and thereby reduce the need for chemical treatments.

The Negative-prognosis, a forecasting model for primary attack of potato late blight was validated. The use of micrometeorological data as input to forecasting models for potato late blight is discussed. The relationship between the potato microclimate and standard measurements of temperature and leaf wetness (2 m) was analyzed.

During the growing seasons 1987-89, measurements of macroclimate were carried out in two 0.25 ha potato fields with row spacings of 110 cm and 75 cm respectively. Profile measurements of temperature and leaf wetness were compared and related to development of disease.

During the period from June 1 to July 27, 1988 temperature profiles were measured every hour in both fields. For 90 percent of the 1368 hourly measurements, the temperature difference between fields was less than 0.5 to 1.0 °C depending on sensor location in the canopy.

The variation between replicated measurements of leaf wetness in general was higher than similarly located measurements of temperature. During the period from June 1 to July 27 1988, the difference between row spacings in total number of hours with leaf wetness was insignificant. The total number of hours with leaf wetness at three levels in the canopy was between 449 and 537 for 110 cm row spacing and between 490 and 534 for 75 cm row spacing.

During the period 1987 to 1990 the primary attacks of potato late blight were observed in the field with 110 cm row spacing in 1988 and 1990, in the field with 75 cm row spacing in 1987 and at the same time in both fields in 1989. It was not possible to observe any difference in the rate of disease development between the two fields.

It is concluded, that the potato late blight development was depending on macrometeorological conditions more than the respective microclimatic conditions. It is possible that an increased rowspacing can have an effect on late blight development in areas or years when weather conditions is marginal for the fungus to survive and reproduce.

Temperature is measured in 2 m standard height at ordinary meteorological stations (standard climate). The relation between micro- and standard climate is of interest f.ex. for the use of models for disease development. The hourly temperature measurements during the period June 1 to July 27 1988 were divided into two groups. One group of *wet* temperature measurements, when leaf wetness was registered simultaneously, and one group of *dry* temperature measurements. The difference between micro- and standard climate was found to be significantly higher in *dry* periods than in *wet* periods. The difference between temperature in the canopy (10 cm above row) and at 2 m height was for *dry* hours between

-0.6 and 4.1 °C (5 % and 95 % fractile). The same difference for wet hours was between -0.5 and 1.3 °C.

As the increase in late blight propagules is assumed to take place primarily during wet periods, the use of temperature from 2 m height as input to disease models seems to be acceptable.

During dry periods the duration of leaf wetness during the night was often found to be longer for sensors located just above the crop (45 cm above row) than on sensors placed in the canopy. On the other hand periods of leaf wetness was found to be longer for sensors in the canopy after rainfall events. In 1990 and 1991 the first primary attacks were observed as stem attacks at the top of a few plants. Relative longer periods with dew on top leaves and resulting water drops at the basis of the leaf stalks can be one reason for this phenomenon.

For the 1987-1991 growing seasons at Foulum, the Negative-prognosis provided a successful advise for date of initiation of fungicide treatment against late blight. Based on this investigation, it is recommended to use standard meteorological data as input for late blight disease models.

Keywords: Potato fields, *Phytophthora infestans*, temperature, leaf wetness, disease progress, Negative prognosis.

1 Indledning

Kartoffelskimmel (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) er en af de alvorligste svampesygdomme i kartofler i Nordeuropa. I Danmark anvendes Negativ-prognosen til prognose/varsling for kartoffelskimmel (Hansen og Holm, 1991). Datagrundlaget for denne model er temperatur og luftfugtighed målt hver time i 2 m højde på ordinære meteorologiske stationer (Ullrich & Schrödter, 1966).

Mikroklimaet, defineret som de meteorologiske forhold i afgrøden, er umiddelbart et mere relevant udtryk for det miljø, der påvirker svampens muligheder for etablering og vækst. Imidlertid foretages der ikke rutinemæssige målinger af mikroklima, hvilket begrænser de operationelle anvendelser af modeller baseret på mikrometeorologiske variable.

Formålet med undersøgelserne er, at beskrive mikroklimaet i kartofler i relation til udviklingen af kartoffelskimmel. Mikroklimamålinger foretages i kartofler med traditionel (75 cm) og øget rækkeafstand (110 cm). Det undersøges, hvordan en sådan modificering af afgrødestrukturen påvirker mikroklimaet og dermed evt. sygdomsudviklingen. Mikroklimamålingerne sammenholdes med respektive meteorologiske målinger i standardhøjden 2 m. Det belyses om mikroklimadata giver et bedre grundlag for prognose/varsling end i dag, hvor det meteorologiske grundlag er standard målinger fra ordinære meteorologiske stationer.

1.1 Det biologisk/meteorologiske grundlag for prognose/varsling for kartoffelskimmel

Der skal her gives et kort resumé af den del af kartoffelskimmels biologi, der har relevans for dels relationerne mellem mikroklima og kartoffelskimmel og dels prognose/varsling. Oplysningerne er hentet primært fra Bajic (1988), som har lavet en grundig litteraturgennemgang om emnet.

1.1.1 Primærangreb og sygdomsudvikling

Inokulum er næsten altid tilstede i kommercielle kartoffelmarker, enten som latent smitte i læggematerialet eller fra fjernsmitte, fra nærliggende marker eller haver. På én ha vil kun få procent inficerede læggeknolde give anledning til primærangreb på fremspirende planter (Bajic, 1988).

Fra primærlæsioner vil man ofte se, at sygdommen først spredes med vind og/eller regn til naboplanter. Der udvikles et såkaldt focus, en plet i marken der gradvist vokser i omkreds. Inkubationstiden er 3-5 dage. Fra et eller få foci vil inokulum på et tidspunkt spredes med vinden til resten af marken og under gunstige meteorologiske betingelser give anledning til en epidemisk sygdomsudvikling i marken. Fra marker med skimmel i udbrud kan der ske

fjernsmitte til nabomarker. Levedygtigt inokulum er fundet helt op til 60 km fra smitekilden (Schrödter, 1987).

1.1.2 Sporedannelse

Sporedannelsen sker primært om natten. For en effektiv sporedannelse kræves minimum 8-14 sammenhængende timer med relativ luftfugtighed (R_h) > 90 % og temperaturer mellem 17 og 22 °C (optimum). Ved lavere temperaturer kræves flere sammenhængende timer med R_h > 90 % og ved højere temperaturer end ca. 26 °C mister inokulum sin levedygtighed (Bajic, 1988).

Efterhånden som en læsion vokser i omkreds dør centrum af læsionen, og produktionen af nye sporangiphorer med sporangier sker herefter i randen af læsionen. Varigheden af den produktive periode af en læsion er temperaturafhængig. Ved 9 °C er den ca. 10 dage lang, ved 15 °C ca. 9 dage og ved 18-22 °C 3-5 dage. Temperaturer højere end 29 °C bevirker, at myceliet i læsionen dør hurtigt. Man regner med, at de fleste læsioner kun er aktive i nogle få dage (Bajic, 1988).

1.1.3 Sporefrigørelse og spredning

Sporefrigørelse sker primært i morgen og formiddagstimerne. Kraftige ændringer i luftfugtigheden får sporangiophorerne til at sno og dreje sig, hvorved sporangierne frigøres fra sporangiophorerne. Spredningen af sporangierne sker normalt i løbet af dagen over længere afstande med vind eller på alle tidspunkter af døgnet over kortere afstande med regnplask (Bajic, 1988).

1.1.4 Spiring og infektion

Spiring og infektion sker normalt i eftermiddag- og aftentimerne. For effektiv spiring af zoosporer kræves minimum 0.5-2 timer med frit vand på bladene og temperaturer mellem 11 og 15 °C (optimum ca. 13 °C). Infektionen kræver yderligere 2-2.5 timer med temperaturer mellem 10 og 25 °C. Effektiv spiring og infektion kræver således 2.5-4 timer med frit vand på bladene og relativt lave temperaturer i mindst halvdelen af denne periode.

1.1.5 ”Skimmelvej”

Fugtighed i afgrøden fra nedbør eller ved dugdannelse er afgørende for svampens opformering i marken. Sammen med fugtigheden kræves lave temperaturer for effektiv sporespiring og højere temperaturer for effektiv infektion og sporulering. Da sporuleringen er mest effektiv ved relativt høje temperaturer ville man forvente at denne proces primært foregår om dagen. De fleste forfattere er imidlertid enige om, at sporuleringen primært foregår om natten. (Bajic, 1988). Nætter med dugdannelse og relativt høje temperaturer synes derfor at være optimale for en effektiv sporulering. Dette er i overensstemmelse med danske erfaringer (S. Holm, pers. komm.).

Tabel 1.1: Beregningsgrundlag for Negativ-prognosens risikotal. Efter Ulrich & Schrödter (1966).

Antal timer (h) pr. døgn indenfor temperatur-intervallerne, °C	Bidrag til risikotal	Kommentarer
10.0-11.9 14.0-15.9 16.0-17.9 18.0-19.9 20.0-21.9 22.0-23.9	$0.8990 \times h$ $0.4118 \times h$ $0.5336 \times h$ $0.8816 \times h$ $1.0498 \times h$ $0.5858 \times h$	<i>A. Spiring og infektion</i> Medregnes skal kun timer, der indgår i perioder af mindst 4 timers varighed, hvor enten rel. luftfugtighed $\geq 90\%$ eller hvor nedbørsintensiteten ≥ 0.1 mm/time.
10.0-11.9 14.0-15.9 16.0-17.9 18.0-19.9 20.0-21.9 22.0-23.9	$0.3924 \times h$ $0.0702 \times h$ $0.1278 \times h$ $0.9108 \times h$ $1.4706 \times h$ $0.8550 \times h$	<i>B. Sporulering</i> Medregnes skal kun timer, der indgår i perioder af mindst 10 timers varighed, hvor enten rel. luftfugtighed $\geq 90\%$ eller hvor hvor nedbørsintensiteten ≥ 0.1 mm/time
15.0-19.9	$0.1639 \times h + 1.0926$	<i>C. Mycelvækst</i>
$-\infty - +\infty$	$0.0468 \times h - 1.1232$	<i>D. Korrektion for tørkehæmning</i> Kun timer med rel. luftfugtighed $< 70\%$ medregne

Nedbørshændelser er meget vigtige for angrebets udvikling i marken. Nedbør giver frit vand på bladene som er gunstigt for sporespiring og hæver samtidig luftfugtigheden som er gunstigt for sporulering. Derudover er nedbør ansvarlig for en stor del af den lokale spredning af inokulum i marken.

1.2 Negativ prognosen

I Danmark anvendes Negativ-prognosen til prognose/varsling for kartoffelskimmel (Hansen & Holm, 1991). Modellen er en matematisk-statistisk model, udviklet med empiriske data i Tyskland i midten af 1960'erne (Schrödter & Ullrich, 1967). Datagrundlaget for modellen er temperatur og luftfugtighed målt på ordinære meteorologiske stationer.

I modellen antages det, at der ved fremspiring er ca. 2 læsioner pr. ha, og at sygdomsudviklingen herefter udelukkende er afhængig af de meteorologiske forhold (Ulrich & Schrödter, 1966). Fra fremspiring beregnes på baggrund af parametre vist i tabel 1.1 et dagligt risikotal som akkumuleres.

Ved opnået risikotal på 150 angiver modellen, at der er risiko for primærangreb (angrebsniveau 0.1 %) og der anbefales igangsætning af forebyggende kemisk behandling. Ved opnået

risikotal på 270 angiver modellen, at der er risiko for epidemisk udvikling af sygdommen (angrebsniveau 1.0 %). Fordi modellen angiver perioder hvor en epidemisk udvikling ikke er sandsynlig, kaldes den Negativ-prognosen.

Selve modellen er baseret på Van der Planks matematiske udtryk for logistisk vækst (Van der Plank, 1963) samt viden opnået i laboratorieeksperimenter om svampens biologi i relation til meteorologiske variable (Schrödter & Ullrich, 1965).

Modellen antager, at spiring og infektion er betinget af minimum 4 timer med $RH \geq 90\%$ eller nedbør ≥ 0.1 mm/time (tabel 1.1). Afhængig af temperatur i de enkelte timer multipliceres med en regressionsfaktor som angivet i tabel 1.1. Multiplikationsfaktoren er størst ved hhv. 10-11.9 °C og 20-21.9 °C. Disse temperaturområder er omkring optimum for hhv. sporespiring og infektion (se afsnit 1.1.4).

Modellen antager, at sporulering er betinget af minimum 10 timer med $RH \geq 90\%$ eller nedbør ≥ 0.1 mm/time (tabel 1.1). Multiplikationsfaktoren er størst ved 20-21.9 °C, som er omkring optimum for sporulering (se afsnit 1.1.2).

Negativ-prognosen har været anvendt med succes i ca. 25 år i Mellem europa (Schiff & Schrödter, 1984; Schiessendoppler, 1986). I Danmark har modellen været anvendt i en årrække, men den har ikke tidligere været testet for sin træfsikkerhed på grund af manglende sikre observationer af primæragreb (Hansen & Holm, 1991).

2 Materialer og metoder

2.1 Forsøgsmarker

Undersøgelserne er foretaget i perioden 1987-91 i 0.5 ha kartoffelmarker (Bintje) i det økologiske afsnit af "Systemforskningsarealet" ved Foulum (Mikkelsen & Mikkelsen, 1989). I perioden 1987-90 blev marken delt i to med rækkeafstand på hhv. 110 og 75 cm. Sidstnævnte er den normale rækkeafstand i praksis i Danmark. I 1991 blev kartofferne lagt udelukkende med 75 cm mellem rækkerne. Kamhøjden var 25-35 cm og planteafstanden 30 cm. Markerne blev gødet med husdyrgødning svarende til ca. 50 kg ammonium kvælstof pr. ha pr. år.

2.2 Meteorologisk måleprogram og dataopsamling

Målinger af mikroklima i kartofler blev udført i vækstsæsonerne 1987-89. Temperaturmålingerne blev foretaget med PT100 sensorer i tre gentagelser i hver markopdeling og i profil — 10, 25, 45 og 200 cm over kammen. Målinger af overfladefugt blev foretaget med en *Plate-type* elektrodesensor (Sutton et al., 1988) i samme niveauer som temperaturmålingerne. Beskrivelse af overfladefugtsensoren og dennes måleprincip kan findes i Hansen (1989).

Data blev opsamlet med Campbell dataloggerudstyr. Meteorologiske målinger blev foretaget hvert minut, men kun en beregnet gennemsnitsværdi for hvert 10. minut blev lagret til analyse. Sensorerne var placeret enkeltvis på små master, og hver sensor i relation til én plante. Databehandlingen blev foretaget med statistikprogrammet SAS (SAS Institute Inc., 1989).

Meteorologiske data fra den automatiske klimastation ved Foulum blev anvendt som supplement til de meteorologiske målinger i marken (Olesen et al., 1991).

I 1987 blev mikroklimamålinger foretaget som pilotmålinger i forskellige opstillinger. I 1988 blev der foretaget sammenlignende målinger i stor og lille rækkeafstand i en kontinuert måleserie fra 1. juni til 27. juli. I 1989 blev der foretaget mikroklimamålinger i en kortere periode i en lavning og på et højereliggende areal i marken med lille rækkeafstand.

2.3 Biologiske registreringer

Angreb af kartoffelskimmel blev registreret i perioden 1987-91 ved visuelle observationer af procent bladdækning af kartoffelskimmel (British Mycological Society, 1947). Udviklingen i grønt bladareal, GLAI (Green Leaf Area Index), blev registreret i perioden 1988-91 ved hjælp af LICOR bladarealmåler i laboratoriet (Hansen, 1991).

3 Resultater

3.1 Udvikling af kartoffelskimmel, bladarealudvikling og standard meteorologiske forhold

Bladarealudviklingen og udviklingen af kartoffelskimmel ved Foulum i vækstsæsonerne 1988-91 fremgår af figur 3.1. Figur 3.2 viser de respektive standard meteorologiske forhold målt ved Foulums automatiske klimastation.

Figur 3.1 viser, at der i 1988 var en jævnt stigende bladarealudvikling. Kartoffelskimmel blev observeret første gang som ét focus den 12. juli i den store rækkeafstand med en efterfølgende epidemisk sygdomsudvikling fra 23. juli. Starttidspunktet og hastigheden af den epidemiske sygdomsudvikling var ens i de to rækkeafstande, og sygdomsbedømmelserne er et skønnet gennemsnit for hele marken.

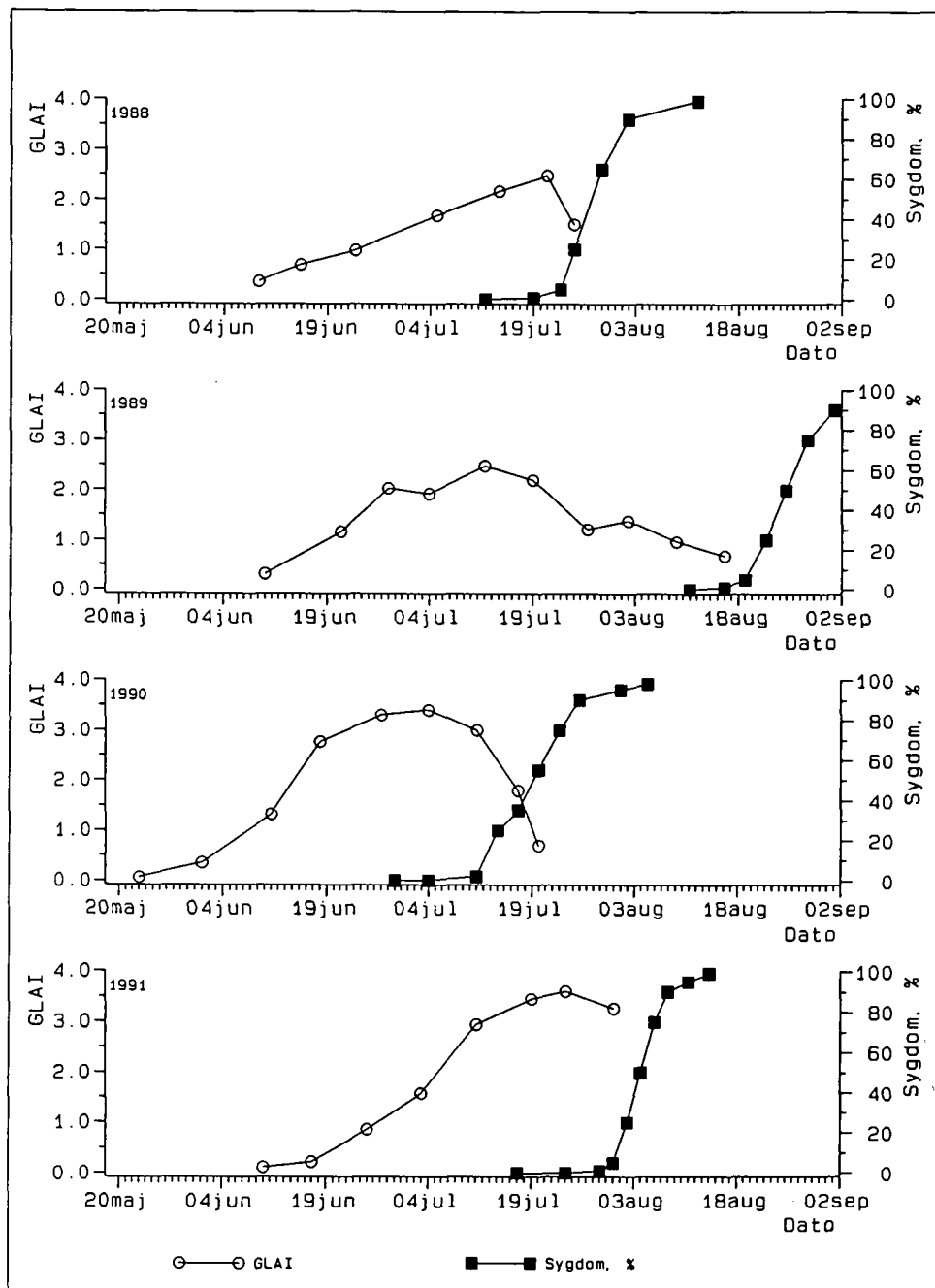
I 1989 var vejret i vækstsæsonen meget tørt og varmt (figur 3.2), og planterne var synligt under tørkestress i lange perioder. Bladarealet var aftagende fra midten af juli på grund af tørkeskader og sandsynligvis provokeret senescens. Kartoffelskimmel blev observeret første gang den 12. august overalt i marken og uden markante foci (figur 3.1).

I 1990 var første halvdel af maj måned meget varm (figur 3.2). Det bevirkede en hurtig og kraftig vækst af planterne. Da juni måned efterfølgende havde normale temperaturforhold med rigelig nedbør, udviklede afgrøden en kraftig bladmasse med maksimum GLAI på ca. 4 midt i juli (figur 3.1). På grund af den hurtige og kraftige afgrødeudvikling kombineret med det fugtige og varme vejr i juni måned, udviklede skimmelangrebet sig relativt tidligt. I 1990 blev kartoffelskimmel observeret første gang som ét focus den 26. juni i den store rækkeafstand. Sygdommen udviklede sig epidemisk i begge rækkeafstande fra ca. 11. juli.

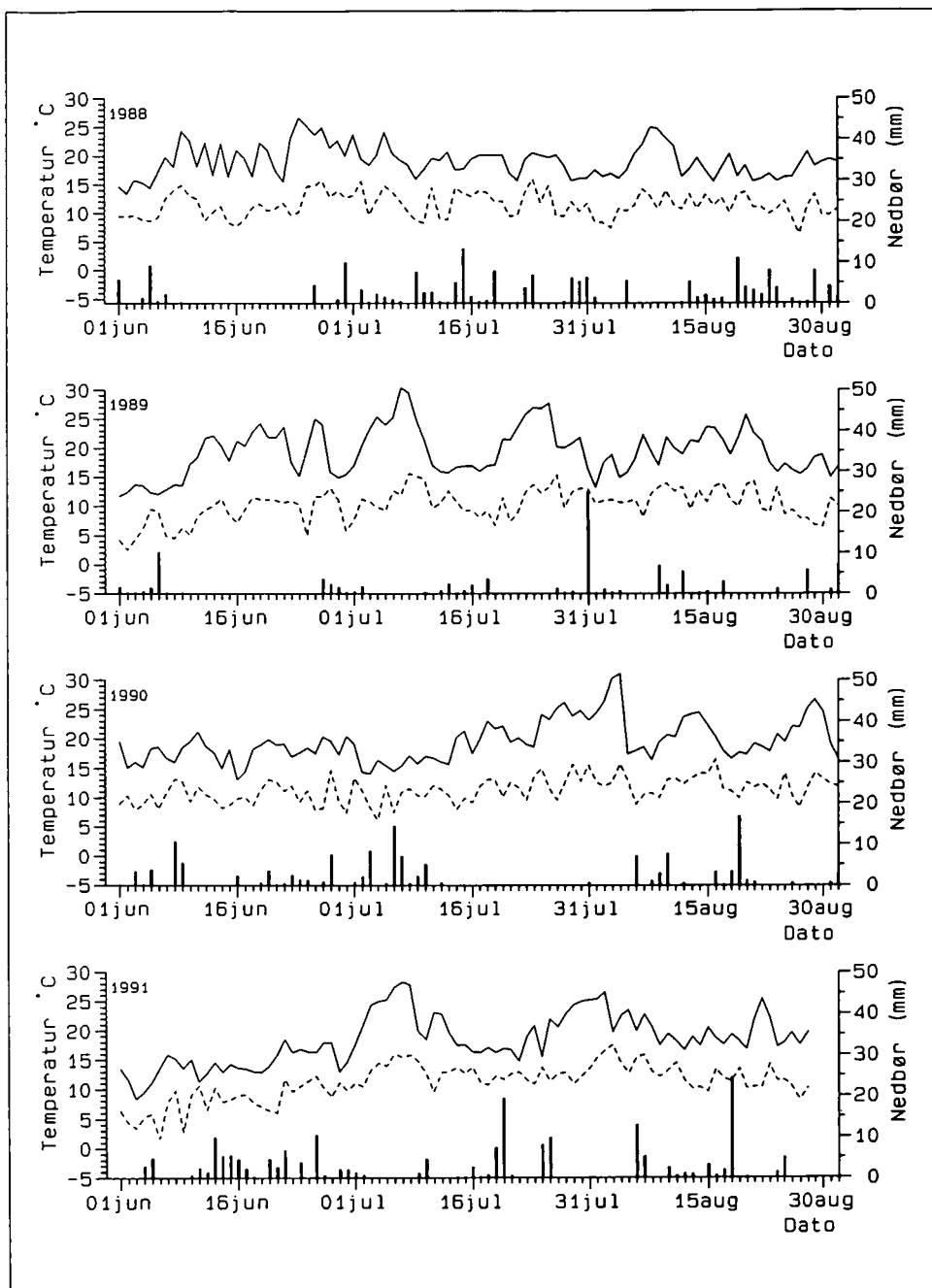
I 1991 var juni måned relativ våd og kold (figur 3.2). Fremspiringen af kartoffelplanterne var relativt sen (27. maj) og bladarealet udviklede sig langsomt indtil slutningen af juni (figur 3.1). Den meget varme periode i fortsættelse af nedbørsperioden i sidste halvdel af juni bevirkede en kraftig bladarealudvikling gennem juli måned (figur 3.1). Kartoffelskimmel blev observeret første gang som ét focus den 17. juli i kanten af marken langs et hegn. Sygdommen udviklede sig epidemisk fra ca. 30. juli, sandsynligvis igangsat af to dage med nedbør den 25. og 26. juli (figur 3.1 og 3.2).

I 1987 blev skimmelangrebet observeret den 2. august i den lille rækkeafstand. Sygdommen udviklede sig epidemisk i begge rækkeafstande fra ca. 12. august.

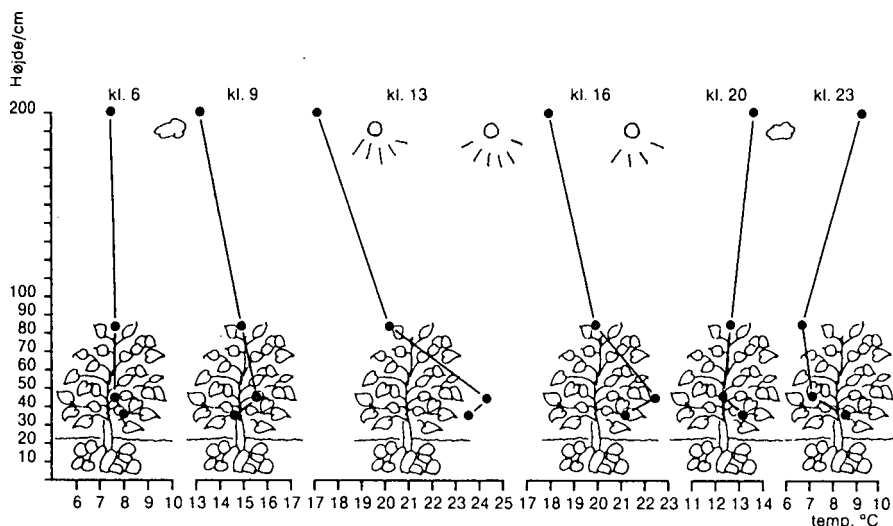
I perioden 1987-90 ved Foulum startede angrebet af kartoffelskimmel i to af fire år i den store rækkeafstand, ét år i begge afsnit samtidigt og ét år i den lille rækkeafstand. Der har ikke kunnet observeres nogen forskel mellem rækkeafstandene i starttidspunktet eller hastigheden af den epidemiske udvikling af kartoffelskimmel.



Figur 3.1: Udviklingen af kartoffelskimmel og grønt bladareal, GLAI, i vækstsæsonerne 1988-91. o = GLAI (cm^2/cm^2) ■ = sygdomsangreb i procent.



Figur 3.2: Standard meteorologiske forhold ved Foulum 1988-91. Daglig maks. temperatur, °C (—), min. temperatur, °C (---) og nedbør, mm (|).



Figur 3.3: Temperaturprofil i en kartoffelafgrøde den 12. august 1987, hhv. kl. 6, 9, 13, 16, 20 og 23. Vindhastigheden midt på dagen var ca. 2 m/s (Fra Hansen & Olesen, 1989).

3.2 Temperaturmålinger i kartofler

3.2.1 Temperaturprofiler

Temperaturen i en afgrøde afviger ofte betydeligt fra temperaturen ovenover i 2 m højde, primært afhængig af afgrødens udviklingstrin, indstråling, lufttemperatur, vindhastighed og luftfugtighed.

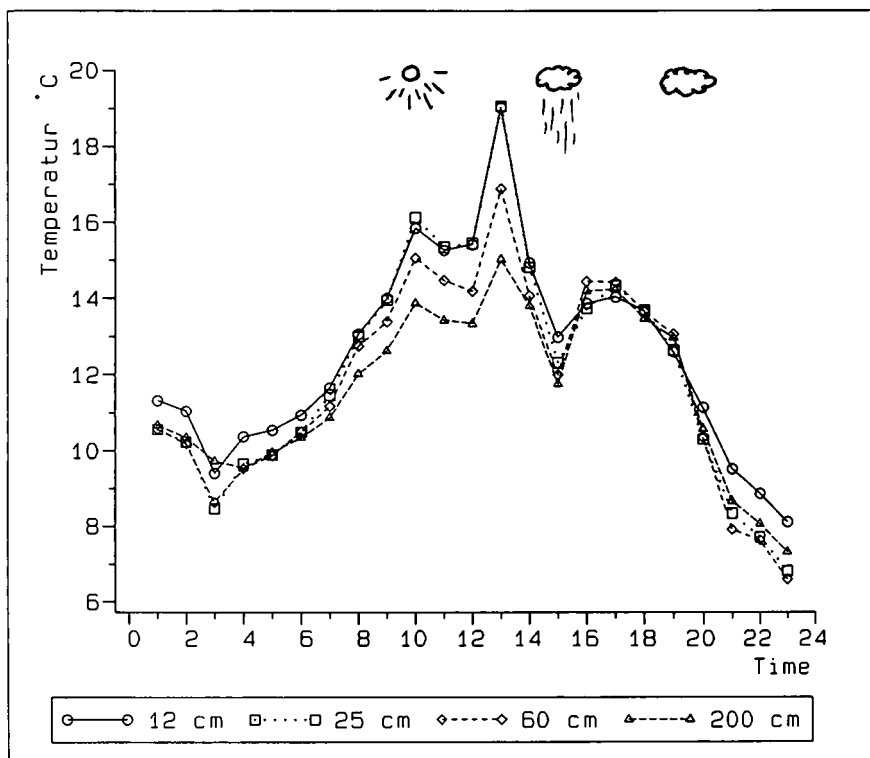
I figur 3.3 er vist et typisk billede af variationen gennem dagen i temperaturprofilet i en veludviklet kartoffelafgrøde i klart vejr med lav vindhastighed. Målingerne er foretaget den 12. august 1987 i marken med rækkeafstand 110 cm.

Af figur 3.3 ses, at temperaturen midt på dagen var ca. 7 °C højere i afgrøden end i 2 m højde. I aften, nat og morgentimerne var temperaturforskellen mellem niveauerne mindre. De højeste temperaturer kl. 20 og 23 blev målt i 2 m højde.

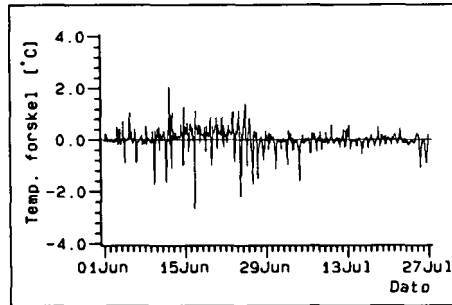
I figur 3.4 er vist et eksempel på hvordan temperaturprofilet ændrer sig ved en nedbørshændelse i form af en kortvarig byge. Afgrødehøjden er på måletidspunktet 40-50 cm.

Forskellen mellem temperatur i afgrøden og 2 m højde er kl. 13.00 4 °C og en time senere under nedbør mindre end 1 °C.

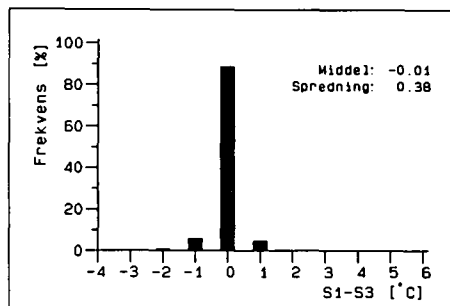
Til en generel beskrivelse af temperaturforholdene i en kartoffelafgrøde over en vækstsæson anvendes i de følgende afsnit data fra måleserien 1. juni til 27. juli 1988. Nævnte periode er karakteristisk ved vejrmæssigt at omfatte tre veldefinerede delperioder. En nedbørsperiode fra 1. til 6. juni, en tør periode fra 7. til 25. juni og en fugtig periode igen fra ca. 1. juli til periodens afslutning (figur 3.2). Perioden omfatter 1368 timeobservationer af hhv. temperatur og overfladefugtighed.



Figur 3.4: Temperaturer gennem dagen den 10. august 1987 i kartofler med 75 cm rækkeafstand. Der er faldet 1.8 mm nedbør mellem kl. 13 og 14 og 1.2 mm mellem kl. 14 og 15.



Figur 3.5: Differens (S1-S3) mellem gentagelser af temperaturmålinger i 10 cm over kammen for perioden 1. juni til 27. juli 1988.



Figur 3.6: Samme data som i figur 3.5, men vist som frekvensfordeling med klassebredde 1 °C. Klassemidterne er vist på x-aksen.

3.2.2 Forskel mellem gentagelser

Strukturen i en rækkeafgrøde som kartoffel er meget heterogen. I relation til en evt. operationel anvendelse af temperatur mikroklimamålinger vil en beskrivelse af variationen på flere gentagelser derfor være relevant.

Figur 3.5, 3.6 og tabel 3.1 belyser variationen mellem gentagelser af time-temperaturmålinger i afgrøden (75 cm rækkeafstand) for perioden 1. juni til 27. juli 1988. Figur 3.5 viser forskellen i temperatur mellem to gentagelser (S1-S3) placeret 10 cm over kammen i hver sin plante. Figur 3.6 viser forskellen mellem de respektive temperaturmålingerne som frekvensfordeling med klassebredden 1 °C. I tabel 3.1 er vist statistiske data for forskellen mellem gentagelserne i tre niveauer med den ene af de tre gentagelser tilfældigt valgt som reference.

Figur 3.5 viser, at forskellen mellem de to angivne gentagelser i 10 cm over kammen er størst i juni måned. Det skyldes, at planternes overvoksning af sensorerne ikke var nøjagtig ens, dels tidsmæssigt og dels strukturmæssigt. I juli måned, hvor sensorerne var helt dækket af afgrøden kombineret med relativt mange nedbørshændelser, udlignedes forskellen mellem gentagelserne (figur 3.2 og 3.5). Betragtes hele perioden 1. juni til 27. juli 1988 var forskellen mellem gentagelserne i 10 cm over kammen mindre end 0.5 °C i mere end 90 % af observati-

Tabel 3.1: Middelværdi og spredning for temperaturforskel mellem gentagelser af time-temperaturmålinger i tre niveauer i en kartoffelafrøde for perioden 1. juni til 27. juli 1988. S1-S10 refererer til sensornumre.

Sensornumre og placering	Temperaturforskel mellem sensorer, °C	
	Middel	Spredning
10 cm over kammen		
S1-S3	-0.01	0.38
S2-S3	-0.05	0.45
25 cm over kammen		
S4-S6	0.19	0.20
S5-S6	0.36	0.24
45 cm over kammen		
S7-S9	-0.26	0.21
S8-S10	0.26	0.20

onerne (figur 3.6). Middelfvigelsen mellem to gentagelser i samme niveau varierede mellem 0.01 og 0.36 °C. Spredningen varierede mellem 0.20 og 0.45 °C og var størst for målingerne i 10 cm over kammen (tabel 3.1). I den følgende statistiske behandling af temperaturdata anvendes gennemsnit af de tre gentagelser i hvert niveau over kammen.

3.2.3 Frekvensfordeling

Da en opformering af kartoffelskimmel i marken antages primært at foregå perioder med bladfugtighed og høj luftfugtighed (se afsnit 1), blev temperaturmålingerne opdelt i *våde* og *tørre* temperaturmålinger. En *våd* temperaturmåling er defineret som en temperaturmåling, hvor der samtidig og i samme niveau i afgrøden er målt overfladefugt. Tilsvarende defineres en *tør* temperaturmåling som en temperaturmåling, hvor der samtidig ikke er målt overfladefugt.

Frekvensfordelingen af *våde* og *tørre* temperaturmålinger 45 cm over kammen i rækkeafstand 75 cm for perioden 1. juni til 27. juli 1988 er vist i figur 3.7.

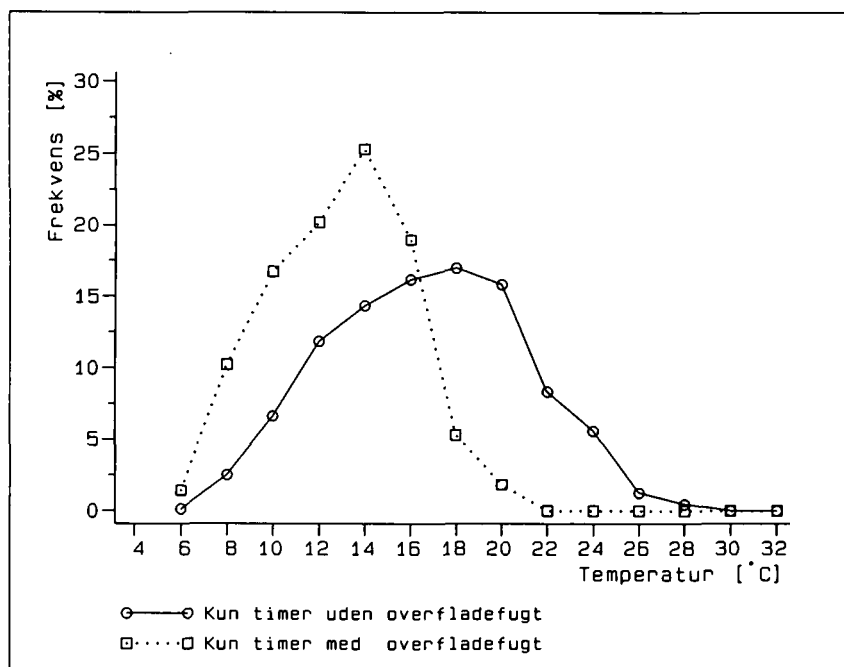
Respektive statistiske data samt tilsvarende for de øvrige niveauer i afgrøden og for begge rækkeafstande kan ses i tabel 3.2 øverst.

Ifølge en Shapiro-Wilk test er frekvensfordelingerne i figur 3.7 ikke normalfordelte. Derfor er der i tabel 3.2 udover middel og spredning angivet median, 5 % fraktil og 95 % fraktil.

Figur 3.7 viser et typisk billede af frekvensfordelingen af temperaturopbservationer for perioden. For de *tørre* temperaturopbservationer blev der registreret relativt flere høje temperaturer end for *våde* temperaturopbservationer (Figur 3.7 og tabel 3.2). I det aktuelle eksempel blev 90 % af 878 *tørre* temperaturopbservationer målt mellem 10.0 og 23.6 °C. Tilsvarende blev 90 % af 490 *våde* temperaturopbservationer målt mellem 8.1 og 17.8 °C (figur 3.7 og tabel 3.2).

Betragtes alle niveauer i afgrøden og begge rækkeafstande, var medianen ca. 3 °C højere og 95 % fraktilen 5-6 °C højere for *tørre* temperaturopbservationer end tilsvarende *våde*.

Sammenholdes fordelingen af *tørre* og *våde* temperaturopbservationer med svampens krav



Figur 3.7: Frekvensfordeling af tørre og våde temperaturmålinger for perioden 1. juni til 27. juli 1988 i lille rækkeafstand, 45 cm over kammen. Klassebredden er 2 °C og antallet af observationer for perioden er 1368. Respektive statistiske data kan ses i tabel 3.2.

Tabel 3.2: Middeltemperatur, spredning, median, 5 % fraktil og 95 % fraktil for timemålinger af temperatur i perioden 1. juni til 27. juli 1988 (N=1368). Våd angiver temperaturmålinger, hvor der samtidig er målt overfladefugt. Tør angiver temperaturmålinger, hvor der samtidig ikke er målt overfladefugt. Desuden temperaturforskel mellem rækkeafstande og forskel mellem temperatur i afgrøden og 2 meters højde.

Række-afstand cm	højde over kammen cm	Temperatur, °C											
		Antal obs.		Middel		Spredning		Median		5 % fraktil		95 % fraktil	
		Tør	Våd	Tør	Våd	Tør	Våd	Tør	Våd	Tør	Våd	Tør	Våd
110	10	919	449	17.2	14.4	4.6	2.9	16.8	14.7	10.5	9.3	25.8	18.9
110	25	890	478	16.8	13.5	4.4	3.2	16.6	13.8	10.0	8.4	24.3	19.1
110	45	831	537	16.9	13.2	4.1	3.0	17.0	13.3	10.3	8.2	23.6	18.1
75	10	834	534	17.6	13.8	4.2	3.0	17.3	14.0	11.1	9.2	25.1	18.8
75	25	858	510	17.1	14.0	4.5	3.2	16.9	14.3	9.9	8.9	24.8	19.4
75	45	878	490	16.7	13.0	4.2	3.0	16.8	13.1	10.0	8.1	23.6	17.8
75	200	962	406	16.3	13.4	3.7	2.7	16.4	13.6	10.5	9.1	22.7	18.1
Temperaturforskel mellem rækkeafstand													
110-75	10	751	366	0.22	0.04	0.48	0.16	0.1	0.0	-0.3	-0.1	1.2	0.3
110-75	25	808	428	-0.28	-0.27	0.22	0.16	-0.3	-0.3	-0.7	-0.5	0.0	-0.1
110-75	45	807	466	0.05	0.11	0.19	0.16	0.1	0.1	-0.3	-0.1	0.3	0.3
Forskel mellem temperatur i afgrøden og 2 meter													
110	10-200	821	308	1.15	0.26	1.41	0.59	0.8	0.2	-0.6	-0.5	4.1	1.3
110	25-200	841	375	0.46	-0.24	0.97	0.42	0.4	-0.3	-0.8	-0.8	2.2	0.5
110	45-200	828	403	0.20	-0.39	0.70	0.37	0.2	-0.4	-0.8	-1.0	1.3	0.2
75	10-200	774	346	0.93	0.23	1.22	0.53	0.6	0.2	-0.6	-0.5	3.3	1.1
75	25-200	806	354	0.78	0.01	1.04	0.50	0.7	0.0	-0.7	-0.7	2.6	0.9
75	45-200	858	386	0.13	-0.49	0.79	0.41	0.1	-0.5	-1.1	-1.1	1.4	0.2

til spiring og infektion (se afsnit 1), må det konkluderes, at spiring og infektion sandsynligvis ikke var den begrænsende proces for svampens udvikling i marken. Under antagelse af, at der er en sammenhæng mellem situationer med relativ luftfugtighed ≥ 90 % og situationer med overfladefugtighed, antyder resultaterne i tabel 3.2, at relativt lave temperaturer i forhold til optimum for sporulering var begrænsende for denne proces.

3.2.4 Forskel mellem rækkeafstande

Forskellen i fordelingen af temperaturopbservationer mellem de to rækkeafstande (110-75 cm) fremgår af tabel 3.2. Betragtes 5 % og 95 % fraktilerne, var forskellen generelt mindre end ca. 1 °C for tørre temperaturopbservationer og mindre end ca. 0.5 °C for våde temperaturopbservationer. Der var således ikke nogen væsentlig forskel i fordelingen af temperaturopbservationer mellem de to rækkeafstande (tabel 3.2).

3.2.5 Forskel mellem afgrøden og 2 m højde

Forskellen mellem temperatur i afgrøden og 2 m højde fremgår af tabel 3.2 nederst. Middel og median var for tørre temperaturopbservationer i alle tilfælde positiv. Det er udtryk for, at temperaturen i tørvejr generelt var højere i afgrøden end i 2 m. Forskellen mellem temperaturen i afgrøden og 2 m var størst for målinger 10 cm over kammen. I marken med rækkeafstand 110 cm fordelte 90 % af de tørre observationer sig mellem -0.6 og 4.1 °C i 10 cm over kammen. I marken med rækkeafstand 75 cm fordelte 90 % af de tørre observationer

sig mellem -0.6 og 3.3 °C i 10 cm over kammen. At 5 % fraktilen var negativ i alle tilfælde skyldes, at temperaturen generelt var lavere i afgrøden om natten.

For observationer af temperatur, hvor der samtidig blev registreret overfladefugt var forskellen mellem temperaturen i afgrøden og 2 m betydeligt mindre i alle niveauer. Medianen for våde temperaturobservationer var i tre tilfælde negativ, hvilket indikerer, at temperaturen i disse niveauer generelt var en smule lavere i afgrøden end i 2 m. Dette fremgår også af 5 % og 95 % fraktilerne for samme niveauer i afgrøden (tabel 3.2). Betragtes begge rækkeafstande og alle tre niveauer under et var forskellen i temperatur i afgrøden og 2 m generelt mindre end ca. 1 °C.

For perioden 1. juni til 27. juli 1988 blev den absolut største forskel mellem temperatur i afgrøden og 2 m om dagen målt til 6.2 °C (temperatur afgrøde minus temperatur 2 m). Om natten blev den tilsvarende absolut største forskel målt til -3.8 °C.

3.3 Overfladefugtmålinger

Ifølge litteraturen kræves perioder af minimum 4-10 timer med bladfugtighed eller relativ luftfugtighed (R_h) ≥ 90 % for effektiv sporulering, sporespiring og infektion (se afsnit 1 og 2).

I det følgende sammenlignes fugtighedsforholdene i kartofler ved rækkelukning for hhv. en tør periode i 1989 og en fugtig periode i 1988. Fordelingen af timemålinger af overfladefugt gennem døgnet belyses, og forskellen mellem målinger i afgrøden og i standardhøjden 2 m analyseres. Det antages, at målingerne af overfladefugt på den valgte "kunstige overflade" er et rimeligt mål for bladfugtighed.

3.3.1 Sammenligning mellem tør og fugtig periode

I tabel 3.3 og 3.4 er vist standard og mikrometeorologiske data for en fugtig periode i 1988 og en tør periode 1989 (figur 3.2). Perioden i 1989 er ikke sammenhængende på grund af dataudfald i perioden. Resultaterne stammer i begge år fra målinger i mark med rækkeafstand på 75 cm, 7 dage omkring 1. juli. Data for overfladefugt er angivet som gennemsnit af tre gentagelser. Øvrige data er fra den automatiske klimastation, 300 m fra marken. Nedbør er angivet som sum for døgnet.

I den fugtige periode i 1988 blev der målt 60-80 timer med overfladefugt. De færreste timer blev målt i 25 cm højde og de fleste i 10 cm. I den tørre periode i 1989 blev der målt 24-77 timer med overfladefugt, de færreste timer i 10 cm højde og de fleste i 45 cm højde.

En nedbørshændelse om natten giver ikke nødvendigvis noget bidrag til registreringen af overfladefugt, hvis der samtidig er dugdannelse. Omvendt kan nedbør i dagtimerne forlænge varigheden af overfladefugt for døgnet betydeligt. Nedbøren den 29. juni 1988 i perioden fra kl. 04-07 har ikke nødvendigvis givet et bidrag til varigheden af overfladefugt, hvis der har været nattedug. Nedbøren samme dag i perioden kl. 12-17 var mere sandsynligt årsagen til de relativt mange timer med overfladefugt for dette døgn.

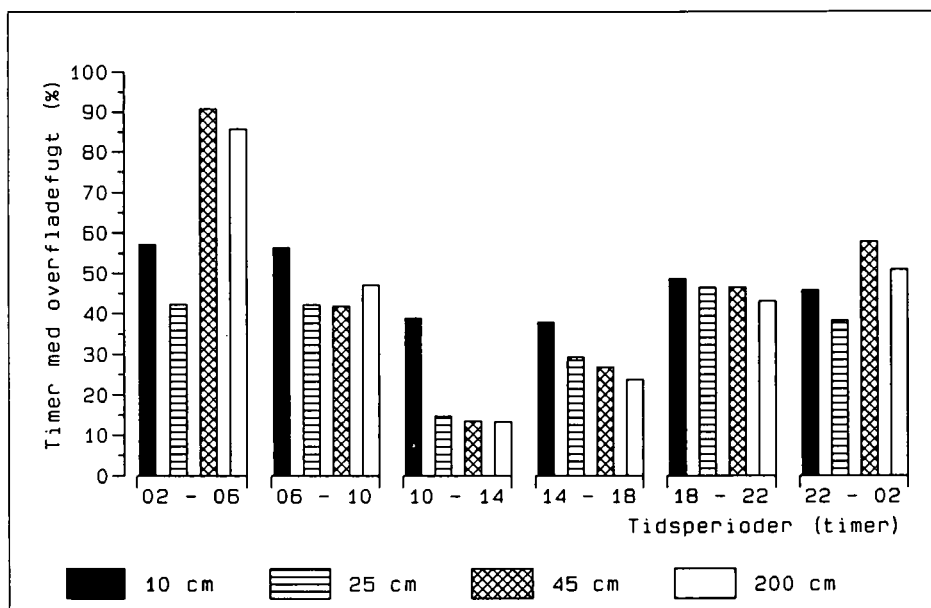
I 1988 blev kartoffelskimmel observeret første gang i marken den 12. juli. Da inkubationstiden er ca. 5 dage (Bajic, 1988) er det sandsynligt, at de angivne meteorologiske forhold

Tabel 3.3: Lufttemperatur, relativ luftfugtighed, globalstråling, nedbør og overfladefugtighed i kartofler for en fugtig periode i 1988. Alle data er sum eller middel af 24 målinger pr. døgn.

Dato	Lufttemperatur, °C			Rel. fugt. %	Global-stråling MJ/m ²	Ned-bør mm	Tidspunkt på døgnet med nedbør		Overfladefugt (timer/døgn) Sensorplac. over kam, cm			
	Min.	Max.	Middel						10	25	45	200
29jun88	13.9	22.6	16.7	91	12.9	13.5	04-07	12-17	12.7	10.6	16.8	15.1
30jun88	12.7	19.9	16.1	83	16.3	0.4	00-03		10.4	2.4	8.5	7.4
01jul88	13.1	23.7	18.9	87	17.6	0.4		18-20	5.0	5.0	12.0	9.8
02jul88	15.6	19.4	16.6	81	19.6	3.5	00-04 07		11.9	9.2	8.5	9.5
03jul88	9.7	18.4	14.7	81	18.4	2.0	10-12		6.2	3.5	8.1	6.8
04jul88	12.3	20.0	16.8	86	17.0	2.2	04-06	15 19	15.0	12.1	9.7	10.3
05jul88	14.7	24.1	18.4	84	16.9	1.3	01	17-21	18.5	17.0	14.2	15.0
	13.1	21.2	16.9	85	17.0	23.3			79.7	59.8	77.8	73.9

Tabel 3.4: Lufttemperatur, relativ luftfugtighed, globalstråling, nedbør og overfladefugtighed i kartofler for en tør periode i 1989. Alle data er sum eller middel af 24 målinger pr. døgn.

Dato	Lufttemperatur, °C			Rel. fugt. %	Global-stråling MJ/m ²	Ned-bør mm	Tidspunkt på døgnet med nedbør		Overfladefugt (timer/døgn) Sensorplac. over kam, cm			
	Min.	Max.	Middel						10	25	45	200
25jun89	5.6	20.5	14.7	73	27.2	0.0			2.4	7.7	7.7	3.7
26jun89	12.2	25.5	18.7	65	28.7	0.0			1.5	6.7	8.2	1.5
27jun89	11.6	24.0	16.7	87	14.2	7.0	06-09	16-18 21	14.1	20.1	20.5	17.2
06jul89	12.6	25.2	18.5	77	25.7	0.0			3.9	6.0	11.8	9.0
07jul89	11.9	30.3	22.3	60	27.1	0.0			0.0	2.1	8.8	6.7
08jul89	15.6	29.5	22.3	72	18.6	0.0			0.0	1.3	7.5	2.2
09jul89	15.1	24.8	18.4	81	17.6	0.1	10		2.0	5.0	12.5	8.0
	12.1	25.7	18.8	74	22.7	7.1			23.9	48.9	77.0	48.3



Figur 3.8: Fordelingen af timemålinger med overfladefugt over døgnet, %, summeret for en fugtig periode, 29. juni til 5. juli 1988. N=168.

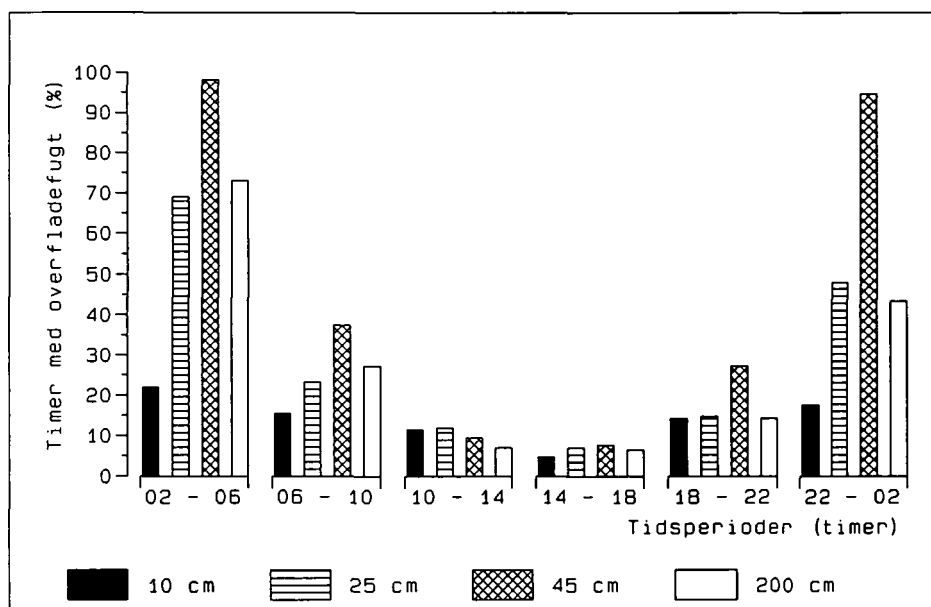
i tabel 3.3 var udslagsgivende for angrebets etablering i marken. Der var sandsynligvis i nokulum tilstede i marken, og temperaturer mellem 10 og 25 °C samt rigeligt med fugt i afgrøden har givet gunstige forhold for både sporespiring, infektion og sporulering.

Relativt længerevarende fugtighed i 45 cm højde for perioden i 1989 skyldtes sandsynligvis længerevarende dugdannelse på sensorerne i dette niveau. Dette er i overensstemmelse med visuelle observationer af dug alene på de himmel-eksponerede blade. To døgn blev noteret uden nattedug i 10 cm højde i perioden i 1989.

3.3.2 Variation gennem døgnet

Med de samme data som er anvendt i tabel 3.3 og 3.4 viser figur 3.8 og figur 3.9 variationen i antal timer med overfladefugt i procent gennem døgnet for hhv. den fugtige periode i 1988 og den tørre periode i 1989. For hver tidsperiode af 4 timer kunne der for perioden af 7 dages længde maksimalt opnås 28 timer med overfladefugt (100 %). Figur 3.8 og 3.9 giver mulighed for dels at sammenligne hyppigheden af overfladefugt i forskellige perioder af døgnet og dels at sammenligne mellem de fire niveauer, hvor der er målt.

I den fugtige periode i 1988 var hyppigheden af overfladefugt om natten størst i niveauerne 45 cm og 200 cm over kammen. Til gengæld var hyppigheden af overfladefugt i dagtimerne størst i bunden af afgrøden (10 cm). Dette er sandsynligvis en effekt af nedbørshændelser i morgen og dagtimerne (tabel 3.3), hvor en efterfølgende sol- og vindtørring vil have størst effekt på frit eksponerede sensorer. Forskellen mellem antal timer med overfladefugt i 45 cm



Figur 3.9: Fordelingen af timemålinger med overfladefugt over døgnet, %, summeret for en tør periode, 25. til 27. juni og 6. til 9. juli 1989. N=168.

og 2 m var ubetydelig i alle tidsintervaller.

I den tørre periode i 1989 var hyppigheden af overfladefugt markant størst om natten (figur 3.9). Sammenlignes sensorerne ved deres niveauplacering i marken ses, at der specielt om natten blev målt markant flere timer med overfladefugt i 45 cm end i de øvrige niveauer. Årsagen må være en forskel i hyppigheden af dugdannelse, da nedbør i perioden var begrænset til ganske få timer (Tabel 3.4).

Dugdannelse er betinget af en vekselvirkning mellem overfladetemperatur, omgivende lufttemperatur og luftfugtighed. Dugdannelsen sker, når overfladetemperaturen på grund af afkøling ved langbølget udstråling er lavere end den nærliggende lufts dugpunkttemperatur.

De nederste sensorer i afgrøden afkøles om natten i mindre grad end de øverste, dels fordi den langbølgede udstråling fra sensoren tilbagekastes fra blade ovenover og dels på grund af en varmeafgivelse fra jorden. I løbet af morgen og formiddagstimerne (kl. 6-10) vil duggen fordampe fra de øvre sensorer og fra kl. 10-18 ses, at der ikke er nogen nævneværdig forskel i hyppigheden af overfladefugt mellem de 4 placeringer (figur 3.9).

3.3.3 Sammenligning mellem afgrøde og 2 m

Forskellen i antal timer med overfladefugt pr. døgn mellem forskellige sensorplaceringer i afgrøden og standardhøjden 2 m for perioden 1. juni 1988 til 27. juli 1988 fremgår af figur 3.10. Data for overfladefugt er fra marken med rækkeafstand 110 cm. Øverst er vist de standard meteorologiske forhold ved Foulum for perioden (figur 3.10a). Forskellen i timermålinger med overfladefugt i afgrøden og 2 m fremgår af figur 3.10c, d og e. Som reference er angivet daglige antal timer med overfladefugt i 2 m over kammen (b)

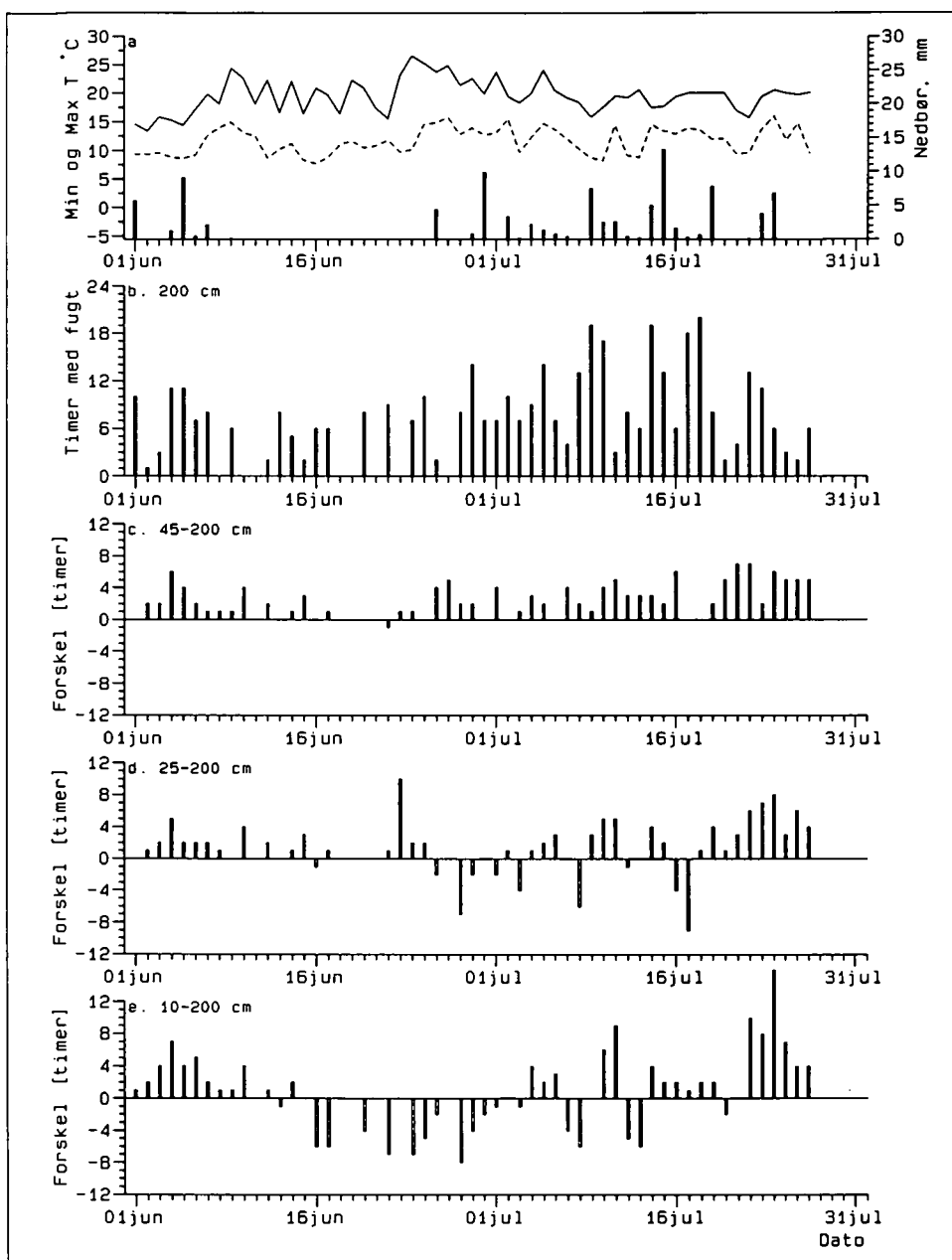
Af figur 3.10 ses, at der i den tørre periode fra 8. til 25. juni i 2 m var 7 dage uden overfladefugt (dug) om natten (figur 3.10a og b). Varigheden af overfladefugt ved dugdannelse var i denne periode af størrelsesorden 2-10 timer (figur 3.10b). Hyppigheden af overfladefugt var for hele perioden generelt større i 45 cm end i 2 m (figur 3.10c). Det samme var tilfældet for målinger i 25 cm højde (figur 3.10d).

Af figur 3.10e fremgår, at der i nedbørsperioderne hhv. i begyndelsen af juni og i juli i de fleste tilfælde var flere timer med overfladefugt i 10 cm over kammen end i 2 m. Til gengæld blev der målt samme antal eller færre timer med overfladefugt i 10 cm end i 2 m i den tørre periode fra 15. til 25. juni, jf. tabel 3.3 og 3.4 samt tilhørende diskussion.

3.4 Validering af Negativ-prognosen

I Danmark anvendes Negativ-prognosen til prognose/varsling for kartoffelskimmel (Hansen & Holm, 1991), men kun ved Foulum 1987-91 eksisterer der sikre observationer af primærangreb. En validering af modellen med anvendelse af gode biologiske data har derfor kun været mulig ved Foulum for nævnte periode. I tabel 3.5 er angivet datoen og sted i marken for skimmel observeret første gang ved Foulum 1987-91 sammenholdt med Negativ-prognosens risikotal på hhv. 150 og 270. Datagrundlaget er temperatur og relativ luftfugtighed målt i vejrhytte ved den automatiske klimastation, Foulum.

Primærangreb blev i alle år først observeret efter varsling og i 4 ud af 5 tilfælde først efter risikotal 270. Variationen mellem årene med hensyn til dato for opnået risikotal 150 var



Figur 3.10: Standard meteorologiske forhold og forskellen i antal timer med over- fladefugt mellem forskellige sensorplaceringer i kartoffelafgrøde og 2 m for perioden 1. juni til 27. juli 1988. Data er fra mark med rækkeafstand 110 cm.

Tabel 3.5: Datoer for Negativ-prognosens risikotal 150 og 270 sammenholdt med tidligste observationer af kartoffelskimmel ved Foulum, 1987-91. Jf. figur 3.1.

År	Dato for beregnet risikotal		Skimmel første gang observeret	Placering af primærangreb i marken
	150	270		
1987	07.07	29.07	02.08	I lille rækkeafstand, 3 moderfoci
1988	21.06	07.07	12.07	I stor rækkeafstand, 1 moderfocus
1989	08.07	31.07	12.08	Jævnt over hele marken
1990	18.06	10.07	26.06	I stor rækkeafstand, 1 moderfocus
1991	26.06	17.07	17.07	1 moderfocus langs hegn

fra 18. juni til 8. juli, dvs. ca. tre uger (tabel 3.5).

3.5 Anvendelse af mikroklimadata i Negativ-prognosen

Input data til Negativ-prognosen skal være data fra ordinære meteorologiske stationer (Ulrich & Schrödter, 1966). Anvendelsen af mikroklimadata fra den aktuelle undersøgelse kan imidlertid give en indikation af modellens følsomhed for variation i det meteorologiske grundlag. Desuden kan betydningen af anvendelse af overfladefugt istedet for $R_h \geq 90\%$ analyseres.

Negativ-prognosen er opdelt i flere delmodeller relateret til kartoffelskimmels reproduktionscyklus, jf. afsnit 1.2. En opdeling af Negativ-prognosen i 4 "delmodeller" kan belyse de enkelte "delmodellers" relative bidrag til det daglige risikotal. Ved at anvende undersøgelsens målinger af overfladefugt i modellen istedet for $R_h \geq 90\%$ opnåes samtidig informationer om tidspunkter med sammenhængende perioder med overfladefugt af hhv. minimum 4 timers varighed (delmodel A for sporespiring og infektion) og minimum 10 timers varighed (delmodel B for sporulering) (tabel 1.1).

I figur 3.11 er vist standard meteorologiske data fra Foulum (figur 3.11a) samt Negativ-prognosens beregning af "delrisikotal" og akkumuleret risikotal (figur 3.11b-d) for perioden 1. juni til 27. juli 1988. Datagrundlaget for modelberegningerne i figur 3.11b-d er data fra kartoffelmarken af temperatur og overfladefugt i 2 m's højde. Bidrag til "delrisikotal A" for spiring og infektion opnåes ved registrering af minimum 4 sammenhængende timemålinger af overfladefugtighed, hvor risikotallets størrelse er afhængigt af temperatur som angivet i tabel 1.1. Bidrag til "delrisikotal B" for sporulering opnåes ved registrering af minimum 10 sammenhængende timemålinger af overfladefugtighed, hvor risikotallets størrelse er afhængigt af temperatur som angivet i tabel 1.1. Figur 3.11c angiver Negativ-prognosens totale daglige risikotal. Sammenholdes dette med "delrisikotalene" ovenfor (b og d) fås en indikation af

"delrisikotal" A og B's relative betydning for det daglige totale risikotal.

Af figur 3.11b og c ses, at modellen i perioden jævnlige angav betingelser for sporespiring og infektion. Betingelser for sporulering optrådte én gang i begyndelsen af juni og først igen med flere dage i juli. I den tørre periode i juni angav modellen jævnlige betingelser for spiring og infektion, men ikke for sporulering (figur 3.11a, b og c).

Det skal bemærkes, at registrering af minimum 4 eller 10 sammenhængende timer med overfladefugt godt kan resultere i et "delrisikotal" på nul, nemlig hvis temperaturen i alle timer er mindre end 10 °C eller temperaturen i alle timer er mellem 12 og 13.9 °C (tabel 1.1).

Figur 3.12 er tilsvarende figur 3.11, men med anvendelse af målinger foretaget i afgrøden. Betingelser for sporespiring og infektion var i den tørre periode i juni tilstede i mindre grad end i 2 m (figur 3.12b og c samt figur 3.11b og c). Til gengæld var der relativt flere dage med risiko for sporulering i den fugtige periode i juli. Ovennævnte forskelle skyldes primært en forskel i antal timer med overfladefugt mellem målinger i 2 m og i 10 cm over kammen (figur 3.10e).

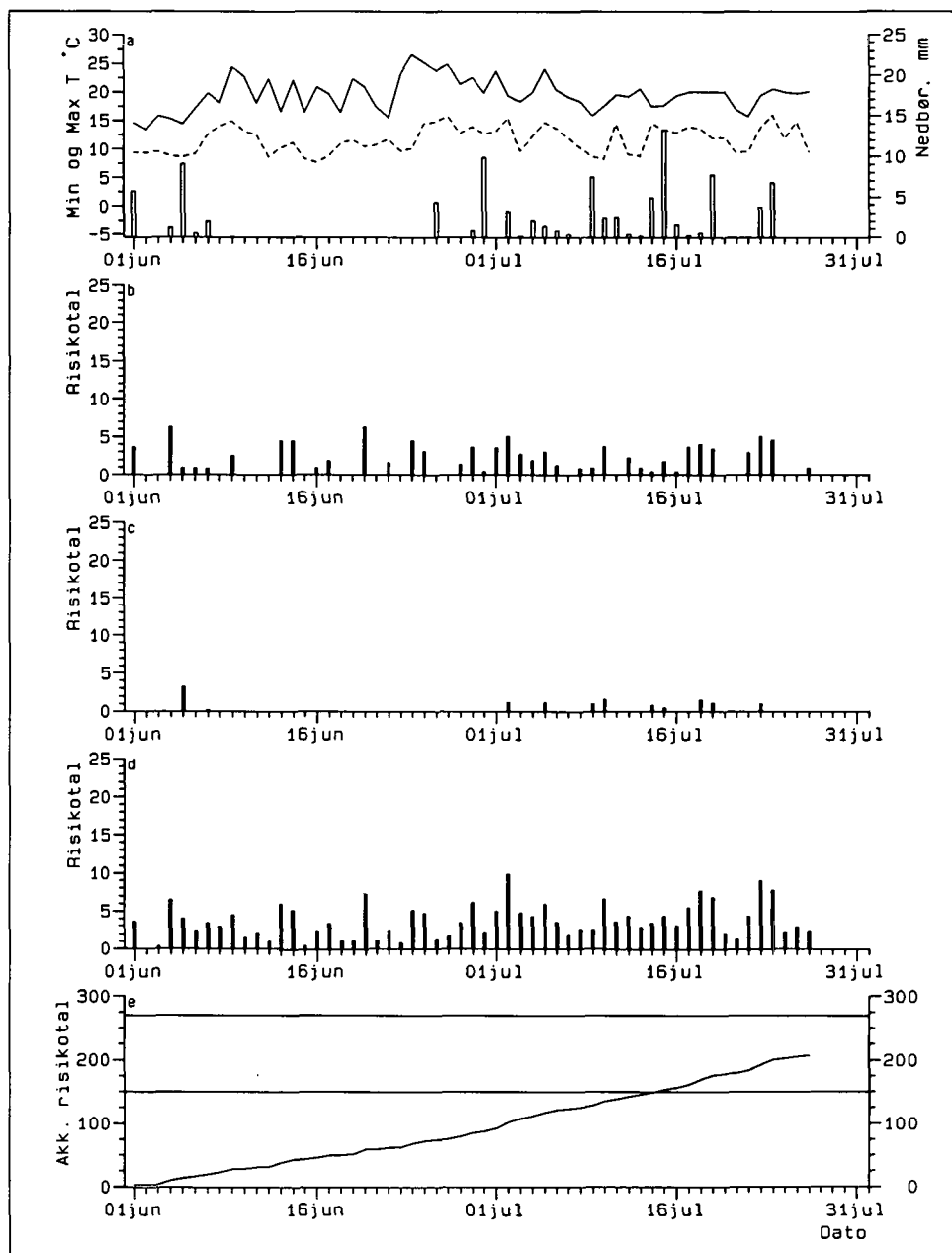
Ifølge Negativ-prognosen kræves minimum 10 timer med fugtighed for en effektiv sporulering (tabel 1.1). Antal timer med overfladefugt var i tørre perioder typisk 0-10 timer på eksponerede sensorer, og ofte mindre på sensorer dækket af afgrøden (figur 3.10b, c og e). I perioder uden nedbør antyder modelberegningerne i figur 3.11 og 3.12, at betingelser for sporulering var begrænsende for skimmeludviklingen, specielt i bunden af afgrøden, hvor de færreste antal timer med overfladefugt blev målt (figur 3.10e).

Efter nedbør var varigheden af overfladefugt ofte længere nede i afgrøden end på sensorer over afgrøden (45 cm og 200 cm). Ovennævnte forhold afspejledes også i forskellen i negativprognosens beregning af risikotal, når der blev anvendt data fra hhv. 2 m og mikroklimedata. I juli måned angav modellen med data fra 10 cm 15 dage med optimale betingelser for sporulering (figur 3.12c). I samme periode angav modellen kun tilsvarende 9 dage med anvendelse af data fra 2 m (figur 3.11c).

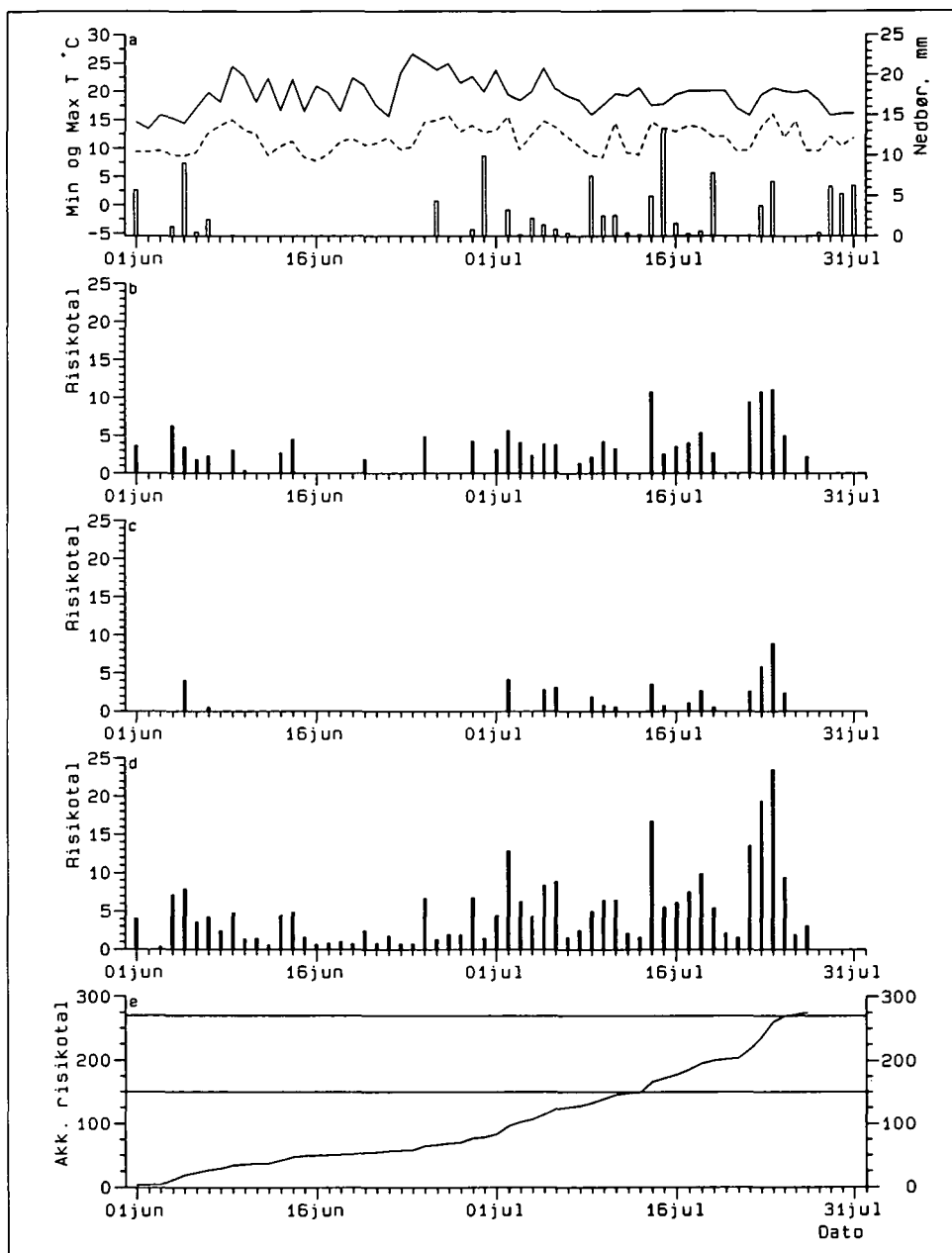
Da svampens inkubationstid er 3-5 dage, og det formodes, at der var gået 1-3 generationer fra den første overjordiske bladinfektion til angrebet blev observeret den 12. juli (figur 3.1), kan betingelser for både sporulering, sporespiring, infektion i begyndelsen af juli meget vel have været udslagsgivende for angrebets etablering i marken (figur 3.11 og 3.12). Angrebet udviklede sig epidemisk fra ca. 23. juli (figur 3.1). Netop i dagene omkring denne dato anviste modellens "delrisikotal" gode betingelser for både sporulering, spiring og infektion (figur 3.11 og 3.12). De relativt høje nattemperaturer i perioden 23. til 24. juli kombineret med rigeligt fugt også fra nedbør har været optimale for en effektiv sporulering (figur 3.12).

I figur 3.13 er vist Negativ-prognosens akkumulerede risikotal med data fra hhv. lille og stor rækkeafstand og for perioden 1. juni til 27. juli 1988. Figur 3.13 viser, at 10 cm lille rækkeafstand skilte sig ud fra de øvrige målinger ved en relativt mere stejl kurve fra ca. 12. juni. Der var kun en ubetydelig forskel mellem de øvrige kurveforløb. Udskillelsen af kurven for 10 cm, lille rækkeafstand ca. 12. juni skyldtes relativt flere timer med overfladefugt om natten i den tørre periode i juni.

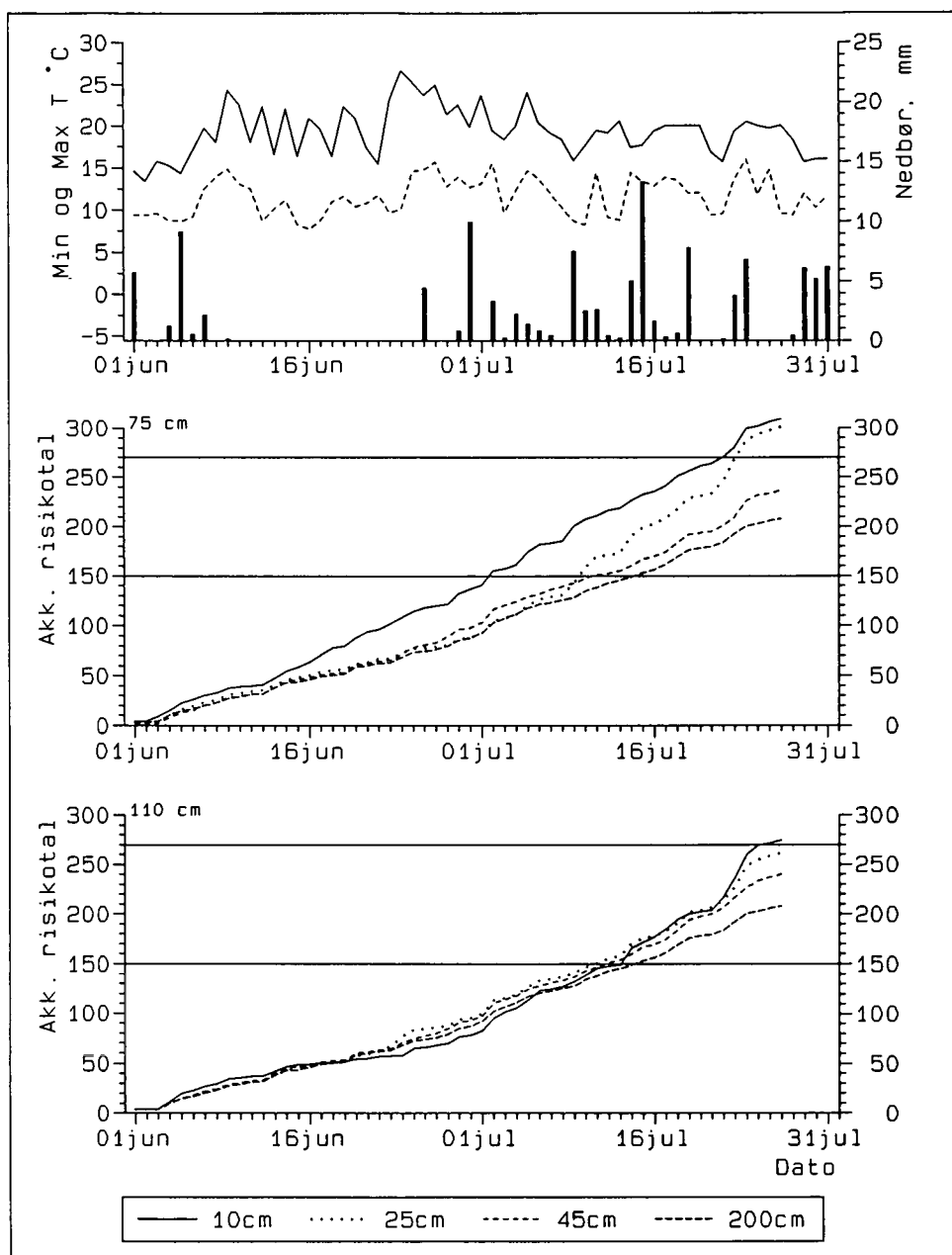
I tabel 3.6 er angivet datoerne for opnået risikotal på hhv. 150 og 270 med anvendelse af mikroklimadata i modellen og beregningsstart 1. juni 1988. Operationelt skulle modellen starte ved fremspiring, som i 1988 var 20. maj. Derfor kan tabel 3.6 ikke sammenlignes



Figur 3.11: Negativ-prognosens risikotal baseret på målinger af temperatur og overfladefugtighed i 2 m højde i marken. a) Standardmeteorologiske forhold ved Foulum 1. juni til 31. juli 1988. b) Delrisikotal for sporespiring og infektion. c) Delrisikotal for sporulering. d) Total dagligt risikotal. e) Akkumuleret risikotal.



Figur 3.12: Negativ-prognosens risikotal med data af temperatur og overfladefugt fra 10 cm over kammen, 110 cm rækkeafstand. a) Standardmeteorologiske forhold ved Foulum 1. juni til 31. juli 1988. b) Delrisikotal for sporespræng og infektion. c) Delrisikotal for sporulering. d) Total dagligt risikotal. e) akkumuleret risikotal.



Figur 3.13: Negativ-prognosens akkumulerede risikotal med anvendelse af mikrokli- madata fra hhv. lille rækkeafstand (75 cm) og stor rækkeafstand (110 cm) for perioden 1. juni til 27. juli 1988. Øverst de standard meteorologiske forhold ved Foulum.

Tabel 3.6: Dato for Negativ-prognosens opnåede risikotal hhv. 150 og 270 med anvendelse af temperatur og overfladefugt målt i kartofler med hhv. 75 cm og 110 cm rækkeafstand. Startdato for modelberegning er 1. juni 1988.

Data fra lokalitet	Dato for opnået risikotal	
	150	270
Rækkeafstand 75 cm		
10 cm	02.7	22.7
25 cm	10.7	24.7
45 cm	10.7	-
Rækkeafstand 110 cm		
10 cm	14.7	26.7
25 cm	11.7	28.7
45 cm	12.7	-
200 cm (mark, overfladefugt)	15.7	-
200 cm (vejrhytte, Rh)	24.6	13.7

direkte med tabel 3.5, også fordi der er anvendt overfladefugt i beregningerne til tabel 3.6 og $R_h > 90\%$ til tabel 3.5. Nederst i tabellen er angivet Negativprognosens risikotal med anvendelse af standard meteorologiske data fra vejrhytte på den automatiske klimastation, Foulum med beregningsstart 1. juni. Fugtighedsmålingen er her relativ luftfugtighed (R_h).

For modelberegninger med data fra marken varierede datoen for opnået risikotal 150 fra 2. til 15. juli. Med data fra vejrhytte (temperatur og relativ luftfugtighed, R_h) og beregningsstart 1. juni blev risikotal 150 opnået ca. 3 uger tidligere end med data fra 200 cm over kammen i marken. I sidstnævnte tilfælde med anvendelse af overfladefugt istedet for relativ luftfugtighed.

Diskussion

Rækkeafstandens betydning for udvikling af kartoffelskimmel

Nærværende projekt var baseret på en hypotese om, at en øget rækkeafstand kunne skabe et mindre gunstigt mikroklima og derved forsinke etableringen af kartoffelskimmel i marken og/eller hastigheden af sygdomsudviklingen.

1988 og 1990 blev de første symptomer af kartoffelskimmel observeret i marken med rækkeafstand 110 cm, i 1987 i marken med rækkeafstand 75 cm og i 1989 i begge rækkeafstande samtidigt. I ingen af årene kunne der observeres nogen forskel mellem rækkeafstandene i hastigheden af den epidemiske sygdomsudvikling. De visuelle observationer af sygdomsudviklingen i marken har altså ikke kunnet bekræfte ovennævnte hypotese.

Øgningen af rækkeafstanden til 110 cm havde tværtimod nogle uheldige konsekvenser, som ikke er relateret til kartoffelskimmel. For marken med rækkeafstand 110 cm var størrelsesfordelingen af kartoflerne ved høst økonomisk set u hensigtsmæssig i form af en relativ stor andel af store kartofler (> 55 mm) (Gunner Mikkelsen, pers. komm.). Efter et kraftigt blæsevejr i juli 1990 blev der observeret mange brækkede stængler i rækkeafstand 110 cm, men næsten ingen i marken med rækkeafstand 75 cm.

Relativt højere vindhastigheder og muligheder for vindturbulens i den åbne afgrødestruktur (rækkeafstand 110 cm) bevirket sandsynligvis, at betingelserne for vindspredning af sporangier er bedre her end i den mere tætte plantebestand (rækkeafstand 75 cm). Bashi et al., (1982) fangede 5 og 2 gange så mange sporangier i en åben kartoffelafrøde som i en tæt afgrøde med hhv. mekanisk fælde og fangplanter. Denne forskel tilskrev de en forskel i vindhastighed i afgrøden mellem de to afgrødestrukturer. I den aktuelle undersøgelse lå de to marker med forskellig rækkeafstand umiddelbart ved siden af hinanden. Derfor kan en forskelligartet effekt af vind på spredningen af sporangier i de to marker være blevet sløret på grund af "interplot interference" (Aust & Kranz, 1988). En mere effektiv vindspredning af inokulum må formodes at kunne påvirke hastigheden af sygdomsudviklingen.

Forskellen i mikroklima mellem de to marker med forskellig rækkeafstand blev analyseret primært med data fra perioden 1. juni til 27. juli 1988. I denne periode var forskellen i temperatur i afgrøden mellem de to rækkeafstande generelt mindre end ca. $0.5-1$ °C (tabel 3.2). De største forskelle i temperatur mellem rækkeafstandene blev registreret i tørre perioder med solskin og lav vindhastighed, de mindste forskelle om natten og i perioder med nedbør. Kartoffelskimmel opformeres primært i fugtige perioder og dermed i perioder hvor temperaturforskellen mellem rækkeafstandene var mindst. Da der ikke kunne registreres nogen forskel i hverken tidspunktet eller hastigheden af den epidemiske udvikling af kartoffelskimmel, vurderes de målte temperaturforskelle mellem rækkeafstandene i 1988 (tabel 3.2) i

relation til skimmeludviklingen at være ubetydelige.

Variationen mellem gentagelser af målinger af overfladefugt var generelt større end de respektive temperaturmålinger. For perioden 1. juni til 27. juli 1988 kunne der dog ikke måles nogen markant forskel mellem de to rækkeafstande i antallet af timeobservationer af overfladefugt. I rækkeafstand 110 cm blev der i tre forskellige niveauer i afgrøden målt mellem 449 og 537 timer med overfladefugt. I rækkeafstand 75 cm blev der tilsvarende målt mellem 490 og 534 timer med overfladefugt (tabel 3.2).

Sammenholdes mikroklimamålingerne med observationerne af kartoffelskimmel, konkluderes det, at de makrometeorologiske forhold i perioden har haft en relativt dominerende betydning for skimmeludviklingen i de to marker. Dette udelukker dog ikke, at en øget rækkeafstand under marginale meteorologiske betingelser kan have en effekt på etableringen og udviklingen af kartoffelskimmel.

Forskel mellem mikroklima og standardmålinger i 2 m's højde

Temperaturen måles som standard i 2 m's højde. Derfor har en analyse af forskellen mellem mikroklima og standard meteorologiske målinger interesse, f.eks. i forbindelse med anvendelsen af modeller for sygdomsudvikling. For perioden 1. juni til 27. juli 1988 blev timemålingerne af temperatur opdelt i målinger, hvor der henholdsvis samtidig og ikke samtidig var målt overfladefugt. Forskellen mellem temperatur i afgrøden (10 cm over kammen) og 2 m var for de tørre timer mellem -0.6 og 4.1 °C (5 % og 95 % fraktil). Den tilsvarende forskel for våde timer var mellem -0.5 og 1.3 °C (tabel 3.2).

Da en opformering af kartoffelskimmel antages primært at foregå i våde perioder, anses en anvendelse af temperaturmålinger i 2 m til modeller for sygdommens udvikling at være acceptabel.

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 vejrforhold, hvor forskellen mellem mikro- og makroklima antages at være minimal, f.eks. perioder med nedbør (Schrödter, 1983). Resultaterne i denne rapport støtter denne antagelse for temperaturs vedkommende.

For overfladefugt blev der derimod registreret markante forskelle mellem målinger i afgrøden og 2 m. Antal timer med overfladefugt i forskellige niveauer i afgrøden blev analyseret for hhv. en uge med nedbør og en uge med tørvejr (tabel 3.3, 3.4, figur 3.8 og 3.9). I den tørre periode blev der alle dage målt flere timer med overfladefugt (dug om natten) på sensorer placeret i 45 cm over kammen end på sensorer nede i afgrøden (10 cm). Omvendt blev der i perioden med nedbør i 4 ud af 7 dage registreret flere timer med overfladefugt på sensorer i bunden af afgrøden (tabel 3.2). Da frit vand på bladene er afgørende for sporenes spiring og infektion kan de aktuelle meteorologiske forhold være bestemmende for, hvor på planterne angrebet af kartoffelskimmel starter. I 1990 og 1991 blev de første symptomer af kartoffelskimmel observeret som stængelangreb i toppen af én eller få planter. En relativ længerevarende dugdannelse her og resulterende dugsamlinger ved bladstilkens basis kan være en medvirkende årsag til dette fænomen.

Erfaringerne med måling af overfladefugt i kartofler samt testmålinger af overfladefugt med sensorer med forskellig hældning har givet anledning til en anbefalet standardmåling af overfladefugt i relation til planteværn. Som standardmåling af overfladefugt med sensorer af *plate-type* elektrode typen anbefales en placering i 1 m's højde og med en hældning på 5-7 grader af sensorfladen i nordvendt retning (Hansen, 1989).

Meteorologiske forhold i relation til kartoffelskimmels epidemiologi

I Danmark optræder angreb af kartoffelskimmel stort set hvert år, men der kan være stor variation i tidspunktet for angrebets start. På landsplan observeres primærangreb normalt i perioden fra midt i juni til midt i juli (S. Holm, pers komm.). I perioden 1987-91 ved Foulum blev primærangreb observeret tidligst den 26 juni (1990) og senest den 12. august (1989), se tabel 3.5.

Da svampens inkubationstid er 3-5 dage kan vejrforholdene, der sandsynligvis har givet anledning til hhv. primærangreb og epidemisk sygdomsudvikling anskues i figur 3.2 (1988-91), 3.11 og 3.12 (1988). De primærlæsioner af kartoffelskimmel, der blev observeret den 12. juli 1988 (figur 3.1), skulle således være et resultat af gunstige vejrforhold for både sporulering, spiring og infektion i perioden omkring den 8. juli til 10. juli. Netop i denne periode angav Negativ-prognosens "delrisikotal" gunstige betingelser for både sporulering, sporespiring og infektion (figur 3.11 og 3.12). Det formodes, at der var gået mindst et par generationer inden symptomerne blev observeret, og de gunstige betingelser for både sporulering, sporespiring og infektion i begyndelsen af juli har sandsynligvis været igangsættende for primærangrebet (figur 3.11 og 3.12).

I 1988 observeredes en markant udvikling af skimmellæsioner (epidemi) i hele marken og i begge rækkeafstande ca. 23. juli. Derfor skulle dagene omkring den 18-19. juli have været gunstige for sporulering, spredning af sporangier, spiring og infektion. Nedbøren den 18. og 19. juli kombineret med vindhastigheder på op til 8.5 m/s den 19. juli var sandsynligvis udslagsgivende for epidemiens start på markniveau. Negativprognosen gav også udslag for både betingelser for sporulering, spiring og infektion netop de samme dage (figur 3.11 og 3.12).

I 1989 var skimmeletableringen begrænset af meget tørt og varmt vejr gennem hele vækstsæsonen. Skimmeludviklingen blev sandsynligvis sat igang af nedbørsperioden fra 9-12. august (figur 3.2). Der var gunstige betingelser for spredning af sporangier den 14. og 15. august hvor vindhastighederne var op til 8.5 m/s.

I 1990 var vejret gunstigt for skimmeludvikling gennem det meste af juni måned. Angrebet blev sandsynligvis etableret med nedbørsperioden omkring 21-23. juni (figur 3.2). Vindspredning af sporer kan være sket med vindhastigheder på op til 10 m/s i perioden 8-14. juli, hvilket har givet anledning til en epidemisk udvikling i hele marken fra 12. juli (figur 3.1 og 3.2).

I 1991 var der megen nedbør i juni måned. Til forskel fra 1990 var temperaturerne dog betydeligt lavere (figur 3.2). Temperaturer under 10 °C er generelt ugunstige for skimmel-svampen, og de lave temperaturer i juni har sandsynligvis været en begrænsende faktor for

sygdommens udvikling. Kartoffelafgrødens udvikling var på grund af lave temperaturer i maj og juni forsinket (figur 3.1). Ifølge Grainger (1957) er kartoffelafgrødens modtagelighed mindst i perioden med kraftig vækst. Det kan derfor ikke udelukkes, at den vækststadiet betingede resistens har haft betydning for, at den megen nedbør i juni måned ikke har været nok til at etablere angrebet i denne periode. Det kan dog ikke udelukkes, at inokulum slet ikke var tilstede i marken i nævnte periode.

Ved Foulum 1987-90 var perioden fra de allerførste symptomer til starten af den epidemiske udvikling i hele marken 10-14 dage lang. Varigheden af selve den epidemiske udvikling var ligeledes 10-14 dage. Det samlede sygdomsforløb fra primærlæsioner til ca. 95 % angreb var mellem 20 og 30 dage (figur 3.1).

Betingelser for sporulering med minimum 10 sammenhængende timer med relativ luftfugtighed ≥ 90 % og optimale temperaturer på 17-22 °C, var sandsynligvis begrænsende for skimmeludviklingen i vækstsæsonen 1988. Det skyldtes dels, at varigheden af overfladefugt om natten i tørre perioder sjældent oversteg 10 timer (tabel 3.4 og figur 3.10) og dels at nedbørshændelser sænkede temperaturen betydeligt til under optimumtemperaturerne nævnt ovenfor (figur 3.2, 3.7 og tabel 3.2). Disse forhold afspejledes også i Negativ-prognosens beregning af risikoperioder for hhv. sporespiring, infektion og sporulering (figur 3.11 og 3.12). I den tørre periode 8. juni til 25. juni 1988 noterede Negativprognosen "delrisikotal" ikke risiko for sporulering én eneste dag, hverken i afgrøden eller i 200 cm (figur 3.2, 3.10, 3.11 og 3.12). Ifølge modellen var der i samme periode 6-8 dage med risiko for sporespiring og infektion. Ovennævnte betragtninger er under antagelse af, at der i relation til sporulering er en rimelig sammenhæng mellem registrering af overfladefugt og relativ luftfugtighed ≥ 90 %.

Undersøgelserne ved Foulum har understreget, at nedbør er meget vigtig for kartoffelskimmels epidemiologi. Det skyldes en kombination af svampens krav til fugt i afgrøden for sporedannelse, sporespiring og infektion samt nedbørens fysiske egenskab som inokulumspreader med regnplask. Sidstnævnte er sandsynligvis årsagen til, at primærangreb ofte udvikler sig til såkaldte foci inden en egentlig epidemi på markniveau starter.

Negativ-prognosen

Anvendelsen af Negativ-prognosen ved Foulum 1987-91 viste, at angrebet i alle tilfælde startede efter varsling (risikotal 150) og i 4 ud af 5 år først efter risikotal 270. Variationen mellem årene for opnået risikotal 150 var fra 18. juni til 8. juli. I erhvervet har man i mange år anvendt den tommelfingerregel at starte den forebyggende sprøjtning mod kartoffelskimmel kort før rækkelukning, dvs. i sidste halvdel af juni måned. Sammenlignet med praksis kunne behandling efter Negativ-prognosen ved Foulum 1987-91 have reduceret behandlingshyppigheden med 1-2 sprøjtninger i starten af behandlingsperioden (tabel 3.5).

Anvendtes mikroklimadata i Negativ-prognosen viser tabel 3.6 og figur 3.13, at udviklingen i akkumuleret risikotal var meget ens med anvendelse af hhv. makro- og mikroklimadata. Kun i 10 cm højde over kammen i lille rækkeafstand var forskellen markant. Forskellen i risikotallets udvikling mellem stor og lille rækkeafstand var også minimal igen bortset fra lille rækkeafstand i 10 cm (tabel 3.6 og figur 3.13).

På baggrund af nærværende undersøgelser kan det ikke anbefales at anvende mikroklimadata som grundlag for vejledningsmodeller for angreb af kartoffelskimmel. Det skyldes dels vanskelighederne ved måling af overfladefugt eller luftfugtighed i afgrøden og dels at en temperaturmåling i 2 m anses for at være acceptabel og derfor at foretrække. Nedbøren og dermed fugt i afgrøden kan variere betydeligt over korte afstande. I områder, der ikke ligger i nærheden af en ordinær meteorologisk station, vil måling af lokalklima med klimaspyd (Hansen og Olesen, 1989) eller tilsvarende sandsynligvis kunne forbedre vejledningen om risiko for angreb af kartoffelskimmel. Dette vil dog kræve udvikling af en PC-udgave af Negativ-prognosen til anvendelse på gårdniveau.

Litteratur

- Aust, H.J. & Kranz, J. (1988).* Experiments and procedures in epidemiological field studies, In: Kranz, J. and Rotem, J. (eds). *Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology*. Springer-Verlag, Berlin, 7-17.
- Bajic, S. (1988).* Reviews in agricultural meteorology. A survey on potato blight (*Phytophthora infestans*, Mont de Bary) forecasting. The Meteorological Office, Agricultural Department, Bracknell, Berks.
- British Mycological Society (1947).* The measurement of potato late blight. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 36, 267.
- Grainger, J. (1957).* Blight - the potato versus *Phytophthora infestans*. *Agricultural Review* 3 (5), 10-26.
- Hansen, J.G. (1989).* Måling af overfladefugt med forskellig hældning på sensorer. *AJMET-rapport No. 6*, 13 pp.
- Hansen, J.G. & Olesen, J.E. (1989).* Udnyttelse af vejrinformation i jordbruget i relation til planteværn. *Større Gårde og Skove*, 54-58. Kraks Forlag A/S.
- Hansen, J.G. (1991).* Anvendelse af multispektral radiometri i kartofler til registrering af bladarealudvikling og angreb af kartoffelskimmel. *AJMET-rapport No. 29*, 26 pp.
- Hansen, J.G. & Holm, S. (1991).* Validering af NEGATIV-prognosen til varslings for kartoffelskimmel. 8. Danske Planteværnskonference, Beretning S2109, 253-259.
- Mikkelsen, G. & Mikkelsen, S.A. (1989).* Start of farming systems research in Denmark. In: *Bull. SROP/WPRS 1989/VII/5: Integrated Arable Farming Systems - Agrosystems Integras - Status of Research*.
- Olesen, J.E., Mikkelsen, H.E. & Friis, E. (1991).* Meteorologiske målemetoder i jordbrugs- og miljøforskningen. *Statens Planteavlsforsøg. Tidsskr. Planteavl, Beretning nr. S2112*, 94 pp.
- SAS Institute Inc. (1989).* *SAS/STAT User's Guide, Release 6.03*. Cary, NC, USA.
- Schiessendoppler, E. (1986).* Die integrierte Bekämpfung der krautfäule der Kartoffel unter verwendung der Negativprognose nach Schrödter und Ullrich. *Pflanzenschutzberichte Band 47, Heft 1*, 25-38.

- Schiff, H. & Schrödter, H. (1984).* Untersuchungen über die Treffsicherheit der Negativprognose zur Zeitsrechten Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel. KALI-BRIEFE (Büntehof) 17 (3), 163-172.
- Schrödter, H. & Ullrich, J. (1965).* Untersuchungen zur Biometeorologie und Epidemiologie von *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary auf mathematisch-statistischer Grundlage. Phytopathol. Z. 54, 87-103.
- Schrödter, H. & Ullrich, J. (1967).* Eine mathematisch-statistische Lösung des Problems der Prognose von Epidemien mit Hilfe Meteorologischer Parameter, Dargestellt am Beispiel der Kartoffelkrautfäule (*Phytophthora infestans*). Agr. Meteorol. 4, 119-135
- Schrödter, H. (1983).* Meteorological problems in the practical use of disease-forecasting models. EPPO Bull. 13(2), 307-310.
- Schrödter, H. (1987).* Wetter und Pflanzenkrankheiten. Biometeorologische Grundlage der epidemiologie. Springer Verlag.
- Sutton, J.C., Gillespie, T.J. & James, T.D.W. (1988).* Electronic monitoring and use of microprocessors in the field. In: Kranz, J. and Rotem, J. (eds). Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology. Springer Verlag, Berlin, 99-113.
- Ullrich J. & Schrödter, H. (1966).* Das Problem der Vorhersage des Auftretens der Kartoffelkrautfäule (*Phytophthora infestans*) und die Möglichkeit seiner Lösung durch eine "Negativprognose". Nachrichtenblatt Deutsch. Pflanzenschutzdienst (Braunschweig) 18, 33-40.
- Van der Plank, J.E. (1963).* Plant diseases: Epidemics and control. Academic press New York.
- WMO (1990).* Part I: Survey of the operational methods in use for agrometeorological services for potato crop production in: Agricultural Meteorology CAgM report no. 35. WMO/TD-no. 381, Geneva.

Afdelinger m.v. under Statens Planteavlsforsøg

Direktionen

Direktionssekretariatet, Skovbrynet 18, 2800 Lyngby	45 93 09 99
Informationstjenesten, Skovbrynet 18, 2800 Lyngby	45 93 09 99
Afdeling for Biometri og informatik, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	45 93 09 99

Landbrugscentret

Centerledelse, Fagligt Sekretariat, Forskningscenter Foulum, Postbox 23, 8830 Tjele ...	86 65 25 00
Afdeling for Grovfoder og Kartofler, Forskningscenter Foulum, Postboks 21, 8830 Tjele ..	86 65 25 00
Afdeling for Industriplanter og Frøavl, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	42 36 18 11
Afdeling for Sortsafprøvning, Teglværksvej 10, Tystofte, 4230 Skælskør	53 59 61 41
Afdeling for Kulturteknik, Flensborgvej 22, Jyndevad, 6360 Tinglev	74 64 83 16
Afdeling for Jordbiologi og -kemi, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	45 93 09 99
Afdeling for Planteernæring og -fysiologi, Vejenvej 55, Askov, 6600 Vejen	75 36 02 77
Afdeling for Jordbrugsmeteorologi, Forskningscenter Foulum, Postbox 25, 8830 Tjele ..	86 65 25 00
Afdeling for Arealdata og Kortlægning, Enghavevej 2, 7100 Vejle	75 83 23 44
Borris Forsøgsstation, Vestergade 46, 6900 Skjern	97 36 62 33
Lundgård Forsøgsstation, Kongeåvej 90, 6600 Vejen	75 36 01 33
Rønhave Forsøgsstation, Hestehave 20, 6400 Sønderborg	74 42 38 97
Silstrup Forsøgsstation, Oddesundvej 65, 7700 Thisted	97 92 15 88
Tylstrup Forsøgsstation, Forsøgsvej 30, 9382 Tylstrup	98 26 13 99
Ødum Forsøgsstation, Amdrupvej 22, 8370 Hadsten	86 98 92 44
Laboratoriet for Biavl, Lyngby, Skovbrynet 18, 2800 Lyngby	45 93 09 99
Laboratoriet for Biavl, Roskilde, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	42 36 18 11

Havebrugscentret

Centerledelse, Fagligt Sekretariat, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	65 99 17 66
Afdeling for Grønsager, Kirstinebjergvej 6, 5792 Årslev	65 99 17 66
Afdeling for Blomsterdyrkning, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	65 99 17 66
Afdeling for Frugt og Bær, Kirstinebjergvej 12, 5792 Årslev	65 99 17 66
Afdeling for Planteskoleplanter, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	65 99 17 66
Laboratoriet for Forædling og Formering, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	65 99 17 66
Laboratoriet for Gartnertechnik, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	65 99 17 66
Laboratoriet for Levnedsmiddelforskning, Kirstinebjergvej 12, 5792 Årslev	65 99 17 66

Planteværnscentret

Centerledelse, Fagligt Sekretariat, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	45 87 25 10
Afdeling for Plantepatologi, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	45 87 25 10
Afdeling for Jordbrugszoologi, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	45 87 25 10
Afdeling for Ukrudtsbekæmpelse, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	53 58 63 00
Afdeling for Pesticidanalyser og Økotoksikologi, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	53 58 63 00
Bioteknologigruppen, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	45 87 25 10

Centrallaboratoriet

Centrallaboratoriet, Forskningscenter Foulum, Postbox 22, 8830 Tjele	86 65 25 00
--	-------------