

## Vanding som frostbeskyttende foranstaltning i kartofler

*Overhead sprinkling to reduce risk of freeze damage in potatoes*

V. Jørgensen

### Resumé

Ved Statens Forsøgsstation St. Jynde vad blev der (1973–77) gennemført markforsøg med vanding som frostbeskyttende foranstaltning i tidlige kartofler. Ved tidlig optagning, 6/6–10/6, blev der i gennemsnit af forsøgsårene opnået et merudbytte for beskyttelsesvanding på 27 hkg knolde pr. ha.

En vandingsintensitet på 4,2 mm pr. time hævede bladtemperaturen lige så meget som 7,1 mm pr. time ved en bladtemperatur på  $\pm 2$  til  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ . Ved afbrudt vanding faldt bladtemperaturen meget hurtigt, især ved lille vandingsintensitet.

Lufttemperaturen i plantehøjde var ofte 1,0–1,5 $^{\circ}\text{C}$  lavere end i 2 m højde. Endvidere var bladtemperaturen ofte 1,0–1,5 $^{\circ}\text{C}$  lavere end den omgivende lufts temperatur.

**Nøgleord:** Vanding, frostbeskyttelse, kartofler.

### Summary

Experiments with frost protection by sprinkling carried out in potatoes during spring (1973–77) resulted in an yield increase of 27 hkg tubers per hectare and year, lifting in the period 6/6–10/6.

By leaf temperatures of  $\pm 2$  to  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  a low intensity of irrigation – 4,2 mm per hour – was able to protect the plant as well as 7,1 mm per hour.

Stop of the irrigation caused a very fast drop of leaf temperature, especially at low irrigation intensity.

The leaf temperature could be 1,0 to 1,5 $^{\circ}\text{C}$  below the air temperature at plant level. But, however, the temperature here was 1,0 to 1,5 $^{\circ}\text{C}$  below the air temperature measured 2 m above the ground.

**Key words:** Irrigation, frost protection, potatoes.

### Indledning

I forbindelse med dyrkning af tidlige frostfølsomme kulturer kan der være interesse for etablering af frostbeskyttende foranstaltninger. I Danmark kan sen nattefrost forårsage skade på forskellige kulturer fra landbrugsplanter til buskfrugt, frugttræer og planteskolekulturer.

I praksis er der forsøgt en række forskellige metoder til at forhindre eller afbøde de værste virkninger af sen nattefrost. En af de mest udbredte metoder er anvendelse af vand, hvilket sandsynligvis skyldes, at metoden, trods en række mangler, er den sikreste. Der kan skelnes mellem den indirekte og den direkte metode.

Ved den indirekte metode holdes jordens fugtighedsgrad nær markkapacitet i perioder, hvor der er fare for nattefrost. Våd jord har større varmemfyld og varmeledningsevne end tør jord. Den våde jord har derfor mulighed for at afgive en større varmemængde til de jordnære luftlag i løbet af nattetimerne. Denne metode kan dog kun afbøde virkningen af få frostgrader. Danske forsøg har dog vist, at metoden kan hindre frostskaade på kartofler ned til  $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$  (Meddelelse nr. 565, 1957).

Hvis der ønskes en større grad af sikkerhed for at kunne forhindre frostskaade anvendes den direkte metode, hvor planterne overbruses med

vand i hele den periode, hvor der er fare for frostska-  
skade.

Hvis det skal hindres, at plantetemperaturen falder under den kritiske grænse, som kan være noget afhængig af planteart og udviklingstrin, må vandets frysevarme være i stand til at holde bladtemperaturen over den kritiske grænse:

$$F_V = U + V_E + V_L \div S_J \div S_A \quad (1)$$

$F_V$  = vandets frysevarme

$U$  = udstråling

$V_E$  = fordampningsvarme

$V_L$  = konvektionsvarme

$S_J$  = stråling fra jorden

$S_A$  = stråling fra atmosfæren

Når vand fryser til is afgives der 80 cal. pr. g vand, men der afgives kun 1 cal. pr. g vand for hver grad vandtemperaturen falder. Af (1) fremgår, at hvis plantetemperaturen skal holdes konstant, må der tilføres samme varmemængde, som der afgives. Det er derfor sandsynligt, at vandingsintensiteten må afpasses efter lufttemperaturen, således, at der ved lavere temperaturer kræves en større vandingsintensitet.

Det var forsøgenes formål, at undersøge ved hvilken temperatur beskyttelsesvandingen bør sætte ind, samt effekten af vandingsintensiteten og afbrudt vanding ved forskellig lufttemperatur.

### Forsøgsplaner og metodik

Forsøgene blev gennemført på Jyndevad Forsøgsstation efter forskellige planer.

#### Plan I

1. Ingen vanding.

*No irrigation.*

2. Vanding når lufttemperaturen mellem planterne faldt til 0,5–1,0°C. Afbrydelse af vanding ved 1,5–2,0°C.

*Irrigation whenever the airtemperature decreased to 0,5–1,0°C. Stop of the irrigation at 1,5–2,0°C.*

3. Vanding når temperaturen mellem planterne faldt til  $\div 0,5 - \div 1,0^\circ\text{C}$ . Afbrydelse af vanding ved 0,0–0,5°C.

*Irrigation whenever the airtemperature decreased to  $\div 0,5 - \div 1,0^\circ\text{C}$ . Stop of the irrigation at 0,0–0,5°C.*

Forsøgsled 2 og 3 blev vandet til markkapacitet, når 50 % af den plantetilgængelige vandmængde var optaget.

Forsøget blev gennemført med kartofler af sorten Minea dyrket under plastic. Kartoflerne blev lagt så tidligt som muligt. Plasticaen blev fjernet, når planterne var 5–10 cm høje. Vandingen blev styret ved hjælp af temperaturfølere (modstandstermometre), som var placeret i niveau med plantens top samt den nødvendige automatik til styring af pumpeanlægget. Der blev kontinuerligt målt jord- og lufttemperaturer gennem hele forsøgsforløbet. Værdierne registreredes automatisk hver time ved hjælp af modstandstermometre og lagredes på hulstrimmel. Vandingen blev foretaget med sprinklere med et tryk på 35–40 meter vandsøjle.

#### Plan II

1. Vanding med ca. 4 mm pr. time.

*Irrigation with 4 mm per hour.*

2. Vanding med ca. 7 mm pr. time.

*Irrigation with 7 mm per hour.*

3. Ingen vanding.

*No irrigation.*

Forsøget blev gennemført med kartofler i containere. Planterne blev drevet frem i klimarum og flyttet til en udendørs forsøgslokalitet under forsøgets gennemførelse. Der blev målt luft og bladtemperaturer under hele forsøgets gennemførelse. Bladtemperaturerne blev målt med termoelementer. Værdierne blev registreret automatisk og lagret på hulstrimmel. Vandingen blev foretaget med sprinklere, som arbejdede med et dysetryk på 35–40 meter vandsøjle. Intensiteten blev opnået med forskellig overlapning.

#### Resultater

##### Klimaforhold og vanding

Der har været ret store årsvariationer i temperaturforholdene, og dermed også i de anvendte vandmængder.

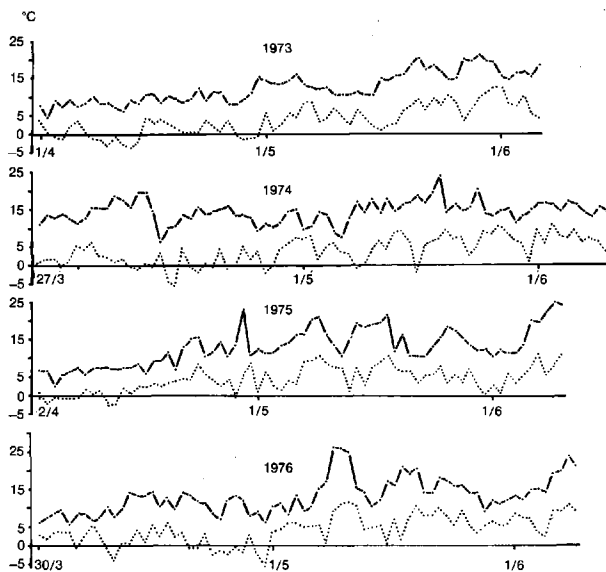


Fig. 1. Lufttemperatur, max. og min. i 2 m højde.  
Airtemperature, max. and min. 2 m above surface of the soil.

I fig. 1 ses max. og min. lufttemperaturerne i 2 m højde gennem hele forsøgsperioden for plan I. Datoer for lægning, optagning og vanding fremgår af tabel 1.

Tabel 1. Lægge, optagnings og vandingsdatoer  
Dates of planting, lifting and irrigation

	lægning planting	plast fjernet plastic removed	optagning lifting	vanding, (mm) irrigation, (mm)
1973 .....	16/3	—	6/6	led 2 16/5 (16) led 3 ÷
1974 .....	26/3	2/5	10/6	led 2 8/5 (25) 9/5 (12) led 3 ÷
1975 .....	1/4	28/4	10/6	led 2 3/5 (6) 4/5 (24) 28/5 (33) 31/5 (6) 2/6 (13) led 3 28/5 (30)
1976 .....	29/3	3/5	8/6	led 2 ÷ led 3 ÷

### Udbytter

I tabel 2 ses udbytteresultaterne fra forsøgene, som blev gennemført efter plan I i årene 1973–76.

Satte beskyttelsesvandingen ind ved 0,5–1,0°C (forsøgsled 2) blev der i merudbytte for én vanding i 1973 opnået 22 hkg knolde pr. ha, to van-

dingen i 1974 gav 24 hkg knolde pr. ha og fem vandingen i 1975 gav 54 hkg knolde pr. ha. I 1976 blev der ikke vandet. Vandingen den 28/5 1975 var ikke mod frost, men blev foretaget på grund af underskud. I gennemsnit af forsøgsårene blev der opnået et merudbytte på 27 hkg knolde pr. ha. I

**Tabel 2.** Udbytte af knolde, hkg pr. ha  
Yield in tubers, hkg per hectare

	Forsøgsled Treatment			LSD <sub>95</sub>
	1	2	3	
1973	71,6	93,8	67,0	
1974	28,2	51,7	29,4	
1975	116,9	170,6	145,4	
1976	124,7	132,0	125,8	
gns. 1973-76	85,4	112,0	91,9	18,5

forsøgsled 3, hvor vandingen først skulle sætte ind ved  $\pm 0,5- \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ , blev der ikke foretaget beskyttelsesvanding, men vandet efter under-skud den 28/5 1975.

Optagningen er alle år foretaget mellem den 6/6 og 10/6.

I figur 2-6 er vist resultater fra forsøg gennemført efter plan II.

I fig. 2 er vist resultater fra et forsøg, som kørte over 2½ time.

Lufttemperaturen i plantehøjde, 20 cm højde,

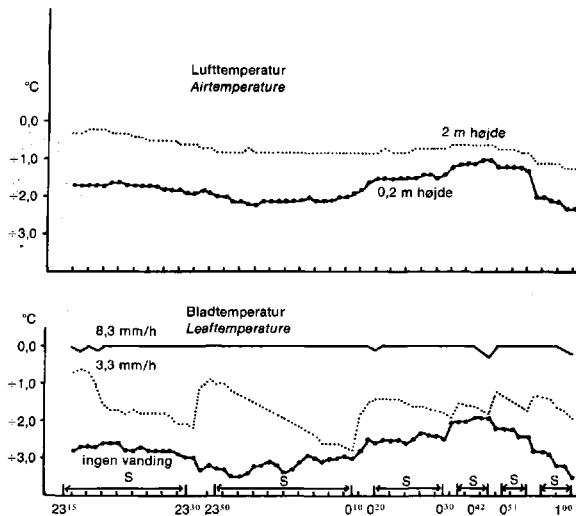


Fig. 2. Vandingsintensitet og bladtemperatur (S = stop for vanding af led 1). 21.-22/4 1976.  
Irrigation intensity and leaf temperature (S = stop of irrigation at treatment 1).

har i hele forsøgsperioden været under  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  og har i ca. 20 min. været under  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Hvis der ikke blev vandet, lå bladtemperaturen op til  $1^{\circ}\text{C}$  under den omgivende lufttemperatur. Ved vanding med 8,3 mm pr. time har bladtemperaturen ligget konstant på  $0^{\circ}\text{C}$ . Afbrudt vanding med 3,3 mm pr. time har ikke været i stand til at holde temperaturen tilstrækkelig højt. 1-3 min. efter vandingens afbrydelse indtrådte der i næsten alle tilfælde et kraftigt fald i bladtemperaturen. I størstedelen af forsøgsperioden har lufttemperaturen i 20 cm højde ligget ca.  $1,3^{\circ}\text{C}$  lavere end i 2 m højde.

I fig. 3 er vist resultater fra et forsøg, som er kørt over 4½ time.

Lufttemperaturen i plantehøjde har i halvdelen af forsøgsperioden været omkring  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  og i størstedelen af forsøgsperioden  $1,5^{\circ}\text{C}$  under temperaturen i 2 m højde. Der blev vandet med 8,7 eller 2,3 mm pr. time. I begge forsøgsled blev vandingen afbrudt to gange, 17 min. fra 23<sup>42</sup> og 9 min. fra 1<sup>03</sup>.

Ved vanding med lille intensitet indtrådte der ved afbrydelse af vandingen et øjeblikkeligt fald i bladtemperaturen, som dog ikke faldt til niveauet i det uvandede forsøgsled. Ved vanding med stor intensitet indtrådte faldet i bladtemperaturen som følge af vandingens afbrydelse senere, og ved den korte afbrydelse, 9 min. fra kl. 1<sup>03</sup>, registreredes

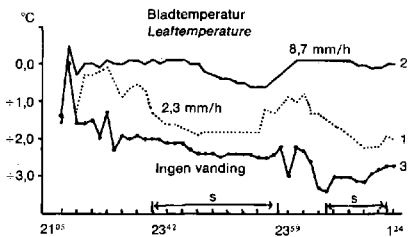
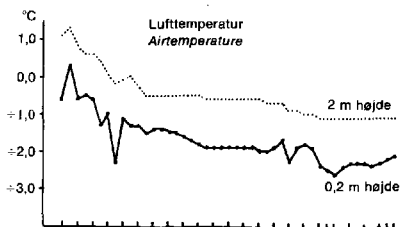


Fig. 3. Vandingsintensitet og bladtemperatur (S = stop for vanding led 1 og 2). 23.-24/4 1976.

*Irrigation intensity and leaf temperature (S = stop of irrigation at treatment 1 and 2).*

kun et ubetydeligt fald i kort tid. Før vandingens start var bladtemperaturerne ens i alle forsøgsled, ca.  $\div 1,6^{\circ}\text{C}$ . Vanding hævede straks bladtemperaturen, men til forskellig niveau afhængig af vandingsintensiteten.

I fig. 4 er resultater fra et forsøg, hvor lufttemperaturen i plantehøjde har været under  $0^{\circ}\text{C}$  i tiden fra kl.  $2^{40}$  til  $6^{00}$ , men det meste af tiden kun nogle få tiendedele, og i ganske kort tid før solopgang var temperaturen nær  $\div 1^{\circ}\text{C}$ . Der blev vandet kontinuerligt med 3,8 eller 7,0 mm pr. time

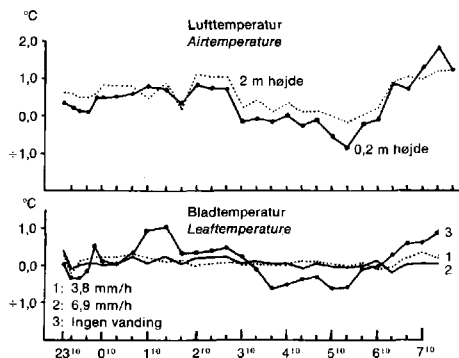


Fig. 4. Vandingsintensitet og bladtemperatur. 17.-18/4 1977.

*Irrigation rate and leaf temperature.*

i hele forsøgsperioden. I det uvandede forsøgsled lå bladtemperaturen på ca.  $\div 0,5^{\circ}\text{C}$  i  $1\frac{1}{2}$  time. I de vandede forsøgsled lå bladtemperaturen meget konstant omkring  $0,0^{\circ}\text{C}$  uanset intensitet. Omkring solopgang, hvor bladtemperaturen var stigende, hvis der ikke blev vandet, var bladtemperaturen stadig omkring  $0,0^{\circ}\text{C}$  i de vandede forsøgsled.

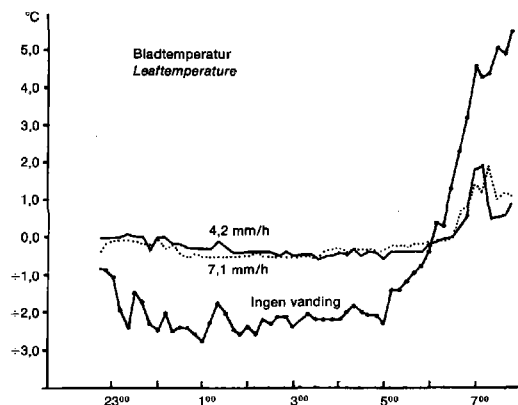
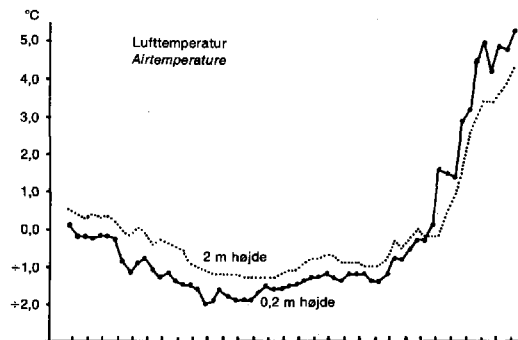


Fig. 5. Vandingsintensitet og bladtemperatur. 19.-20/4 1977.

*Irrigation rate and leaf temperature.*

I fig. 5 er vist resultater fra et forsøg, hvor lufttemperaturen i plantehøjde har været under  $0^{\circ}\text{C}$  i tiden fra kl.  $22^{30}$  til  $6^{20}$ . Bladtemperaturen i det uvandede forsøgsled har været under  $\div 2^{\circ}\text{C}$  i tiden fra kl.  $23^{10}$  til  $5^{00}$ . Der blev vandet kontinuerligt med 4,2 eller 7,1 mm pr. time i hele forsøgsperioden. Vandingen har hævet bladtemperaturen til mellem  $0,0$  og  $\div 0,5^{\circ}\text{C}$ . Der var en tendens til, at det var den højeste bladtemperatur ved den

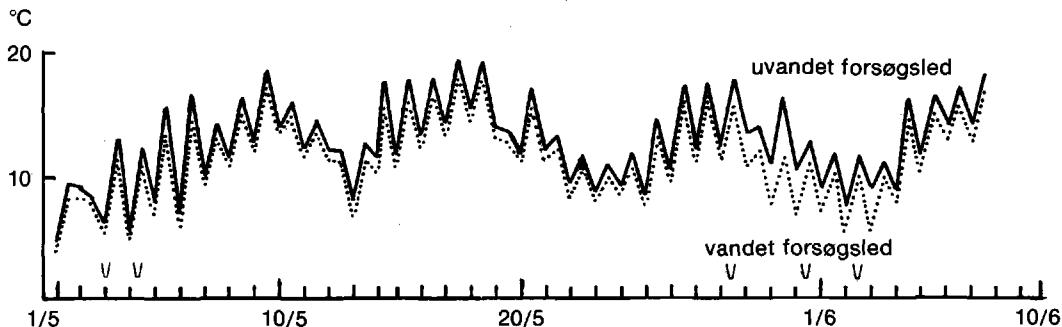


Fig. 6. Jordtemperatur 1975, V = vandingsdatoer.  
Soil temperature 1975, V = dates of irrigation.

lille intensitet i den første del af natten, hvorimod det var omvendt i de sidste natte timer. Ved solopgang steg lufttemperaturen samt bladtemperaturen i det uvandede forsøgsled stærkt. Bladtemperaturen på de vandede planter steg senere og betydeligt mindre.

I fig. 6 er vist jordtemperaturer i maj og begyndelsen af juni 1975. I en stor del af maj måned lå jordtemperaturerne mellem 10 og 20°C. De laveste jordtemperaturer fandtes i begyndelsen af maj og juni måned i forbindelse med beskyttelsesvandinger. Beskyttelsesvanding sænkede jordtemperaturen, især vandingerne omkring 1. juni, men en variansanalyse viste, at også vandingerne 3. og 4. maj sænkede jordtemperaturen signifikant.

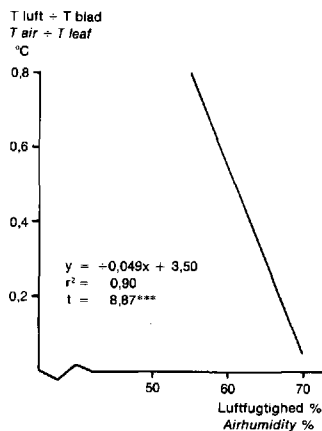


Fig. 7. Lufttemperatur ÷ bladtemperatur som funktion af luftfugtighed.

Airtemperature ÷ leaftemperature as a function of airhumidity.

På forsøgsmaterialet fra 1977 er der gennemført en analyse af forskellen mellem luft og bladtemperatur som funktion af luftfugtigheden.

Sammenhængen kan illustreres med en ret linie, fig. 7. Differencen mellem luft og bladtemperatur var stærkt stigende med faldende luftfugtighed, ca. 0,5°C for et fald i luftfugtigheden på 10 pct.

#### Diskussion

De lufttemperaturer, som medfører frostskafer på kartofler i maj måned ligger ofte mellem  $\div 1$  og  $\div 2$ °C, men lavere temperaturer kan forekomme. Bladtemperaturen kan være 1,0–1,5°C lavere end den omgivende lufts temperatur.

Det er ikke muligt at adskille den frostbeskyttende effekt fra andre virkninger af vandingen, herunder en evt. negativ virkning af store vandmængder på et tidspunkt, hvor jorden ofte er vandmættet i forvejen.

En positiv vandingseffekt som følge af frostvandingen er dog søgt undgået ved at vande til markkapacitet, når 50% af den plantetilgængelige vandmængde er optaget. Det er således forudsat, at vandfaktoren ikke har været begrænsende for produktionen. Kun i 1975 er der vandet på grund af underskud. Denne vanding gav 29 hkg knolde pr. ha. Hvis der yderligere blev foretaget fire vandinger som beskyttelse, gav det yderligere et merudbytte på 25 hkg knolde ved optagning den 10/6.

Det relativt lave udbyttensniveau i 1974 skyldtes frostskafer under plasticien samt tekniske pro-

blemer, som medførte frostska­der i alle forsøgs­led den 16/5. Alligevel blev der for to beskyttel­sesvandinge, 8/5 og 9/5, opnået et merudbytte på 24 hkg knolde pr. ha ved optagning den 10/6.

### Bladtemperaturer

Resultaterne fra plan II viser, at lufttemperatu­ren i plantehøjde næsten altid er lavere end i den officielle målehøjde, som er 2 m. Dette skyldes, at forsøgene altid er gennemført om natten i en ty­pisk udstrålings­situation, hvor jordoverfladen af­køles ved udstråling til verdensrummet, og der­ved afkøles igen de laveste luftlag (Marke 1957).

Bladtemperaturen er igen lavere end den omgi­vende lufttemperatur. I nærværende forsøg oftest 0,5–1,5°C lavere end lufttemperatu­ren, og det viste sig, at op til 90 pct. af variationen i differen­cen mellem luft og bladtemperatur kunne forklares af variationer i luftfugtighed, hvilket får den prakti­ske betydning, at beskyttelsesvandingen skal starte tidligere ved lav luftfugtighed end ved høj luftfugtighed. Ved en luftfugtighed på 50–60 pct. kan bladtemperaturen således være mindst 1,0°C lavere end den omgivende lufts temperatur. Hvis luftfugtigheden er højere er det sandsynligt at differen­cen er mindre. Eimern 1971 og Burckhardt 1960 anfører også, at underafkølingen af blade i nætter med stor udstråling er stigende med faldende luftfugtighed, og at beskyttelsesvandin­gen bør starte, når det våde termometer når 0,0°C.

Hvis beskyttelsesvandingen sættes ind ved en lufttemperatur på omkring 0,0°C, men på stærkt underafkølede blade hæves bladtemperaturen hurtigt, men hvis denne, før frostvandingen satte ind, var under  $\pm 0,5$ – $\pm 1,0$ °C, kan der allerede være indtrådt skader, fig. 1, 2 og 4. I forsøget, hvis resultater er vist i fig. 3, har starttidspunktet væ­ret mere korrekt, 0,2°C i plantehøjde og bladtemperatu­ren var nede på  $\pm 0,2$ – $\pm 0,4$ °C.

Ved afbrudt vanding indtrådte faldet i bladtemperatur betydeligt hurtigere ved lille end ved stor vandingsintensitet. Dette kan skyldes, at ved lille

intensitet befinder der sig under vandingen en meget begrænset vandmængde i væskefasen, hvorfor der meget hurtigt efter vandingens afbrydelse ikke afgives mere frysevarme, sammenlign fig. 2 og 3.

### Konklusion

Formålene med de gennemførte forsøg har været at undersøge virkningen af lille eller stor vandingsintensitet og afbrudt vanding ved frostbeskyttelsesvanding af kartofler, samt ved hvilken temperatur beskyttelsesvandingen bør sætte ind. Endvidere at undersøge relationen mellem lufttemperatu­ren i 2 m højde, i plantehøjde samt bladtemperaturen hos kartofler.

Af uvandede kartofler blev der i gennemsnit af 4 år opnået et udbytte på 85 hkg knolde pr. ha ved optagning mellem 6/6 og 10/6. Med frostbeskyttelsesvanding, som satte ind mellem 0,5–1,0°C, blev der opnået 112 hkg knolde pr. ha.

En vandingsintensitet på 4,2 mm pr. time hævede bladtemperaturen lige så meget som 7,1 mm pr. time ved en plantetemperatur på  $\pm 2$ – $\pm 3$ °C. Ved afbrudt vanding falder bladtemperaturen meget hurtigt, især ved lille vandingsintensitet. Afbrudt vanding bør derfor ikke praktiseres.

Lufttemperaturen i plantehøjde kan ofte være 1,0–1,5°C lavere end i 2 m højde (den officielle målehøjde). Endvidere kan bladtemperaturen være 1,0–1,5°C lavere end den omgivende lufts temperatur.

Frostbeskyttelsesvanding bør starte, når lufttemperatu­ren i plantehøjde er 0,0–1,0°C afhængig af luftfugtigheden.

### Litteraturliste

- Burckhardt, H. (1960) Richtlinien Für Die Frostschutz­berechnung. Meteorologische Rundschau. 13. Jahr­gang, 6. Heft: 165–168.
- Eimern, Josef van (1971). Wetter und Klimakunde für Landwirtschaft, Garten und Weinbau: 239 pp.
- Marke A. W. (1957). Meteorologi og klimatologi: 131 pp. Medd. nr. 565, (1957). Meddelelser fra Statens Plante­avlsforsøg.

Manuskript modtaget den 13. oktober 1977.