

## Temperaturinversion og muligheder for frostbeskyttelse ved luftblanding i en frugtplantage

*Temperature inversion and possibilities of frost protection by air mixing in an orchard*

Jørgen Grauslund

### Resumé

Temperaturforskellen mellem 2 og 10 m højde i en æbleplantage blev målt i april-maj i 3 år. I typiske frostnætter var der i gennemsnit 2,0–2,5 °C varmere i 10 m højde (inversion). Maksimalt er der fundet inversioner på op til 3,5 °C. Blomsterknopper kan være op til 1,5 ° koldere end den omgivende luft. En transportabel blæser, der kan trække luft ned fra over 5 m højde, med eller uden ekstra opvarmning, blev afprøvet. Blæserens rækkevidde og temperaturstigningens størrelse og varighed var dog så lav, at den ikke egner sig til frostbeskyttelse af større arealer. Resultaterne diskuteres med henblik på udnyttelse af temperaturinversioner til frostbeskyttelse.

**Nøgleord:** Frostbeskyttelse, inversion.

### Summary

Temperature inversions between 2 and 10 m above a mature apple orchard were determined during April–May for 3 years. Average of 7 typical radiation frost nights shows an inversion of 2.0–2.5 °C, Figure 2. During an unusually cold night with snow inversion was larger, Figure 3. Flower buds were colder than the surrounding air, Figure 4 and 5. A mobile blower, designed to draw warmer air down to ground level with or without supplementary heating (gas burning) was tested, Figure 1. Generally, the range of the air stream, and the magnitude and duration of temperature increases were too small to permit protection of greater areas, Figure 6 and 7, Table 2. However, weather conditions were unfavourable during many tests. The results are discussed concerning the possible use of inversions in frost protection.

**Key words:** Frost protection, inversion.

## Indledning

Bekæmpelse af frostskafer i blomstringstiden har hidtil ikke vundet udbredelse i danske frugtplantager. I andre lande sker frostbekæmpelse oftest ved overbrusning af træerne med vand, som ved frysning afgiver varme og derved forhindrer planternes temperatur i at synke under frysepunktet. Da ødelæggende frostskafer ikke optræder hvert år her i landet, har det ikke været rentabelt at investere i overbrusningsanlæg.

Tidligt blomstrende frugterter, som f.eks. kirsebær og solbær, er imidlertid særligt udsatte for frostskafer, og den øgede dyrkning af kirsebær i de senere år medfører derfor større behov for frostbekæmpelse.

Normalt falder temperaturen med højden over jorden. Det omvendte forhold, at temperaturen stiger med højden, kaldes *inversion* og forekommer i vindstille, skyfri nætter. Under sådanne forhold sker der et stort varmetab ved udstråling, særlig fra jorden og træerne, som igen afkøler de nederste luftlag. Ved vindstille opstår der derfor en stabil tilstand i luften med kold, tung luft forneden. Frostskafer er derfor værst på lave arealer, ligesom der ofte findes større frostskafer i den nederste end i den øverste del af træerne. Hvis inversionen er tilstrækkelig stor, er der mulighed for at modvirke frostskafer ved en blanding af luften fra f.eks. 10–15 m højde med luften omkring træerne. I visse egne af USA anvendes denne metode til frostbekæmpelse ved hjælp af vindmaskiner (*Ballard*, 1978).

Formålet med nærværende undersøgelse har været at måle temperaturinversionens størrelse over en frugtplantage i de kritiske perioder omkring blomstringstiden. Der er desuden konstrueret og afprøvet et mobilt anlæg til blanding og opvarmning af luften.

## Materialer og metoder

Undersøgelsen er foretaget i en 2 ha stor æbleplantage på Blangstedgård. Træerne var ca. 2,5 m høje, plantet på 5 × 2 m og var 6 år gamle ved forsøgets start i 1979. Jorden er en svær lerjord og har været kemisk renholdt i hele forsøgsperioden. Temperaturfølerne blev opstillet midt i planta-

gen, som til alle sider er omgivet af 12–15 m høje læhegn. Terrænet er praktisk taget uden fald.

## Temperaturmåling

Lufttemperatur i 2 og 10 m højde blev målt med modstandstermometre med en indre modstand på 100 ohm og uden metallkappe. Modstandstrådene er placeret i en glasstang (5 × 0,5 cm), som er omgivet af et plastichylster.

Luft-, knop- og jordtemperatur blev målt med termoelementer. Der blev anvendt et afskærmet chromel/alumel-kabel med en elektromotorisk kraft på 41 mikrovolt pr. grad C. Hver del består af 3 tråde med en tykkelse på 0,32 mm. Som reference har været anvendt knoptemperatur, lufttemperatur i et naboareal eller en is-vand blanding. Følerne har været anbragt i 0,2, 1,0 og 2,0 m højde i træerne, i op til 10 m højde langs en mast, og i 2 m højde i et naboareal, ca. 65 m fra prøveområdet. Måleresultaterne blev registreret kontinuerligt.

Målehyppigheden har været følgende: Fig. 2 og 3: 1 måling hvert andet minut. Fig. 4 og 5: 1 måling hvert minut. Fig. 6 og 7 og tabel 1: 1 måling hvert 12. sekund.

## Transportabel blæser (fig. 1)

Med assistance fra civilingeniør *F. Eriksen*, Jysk Teknologisk Institut, blev fremstillet en transportabel blæser. Blæseren består af et 5 m højt rør med en diameter på 1 m, monteret på en vogn, der efterspændes en traktor. I røret er monteret en axialblæser, der drives af traktorens kraftoverføring og en hydraulisk motor. Luften tages ind foroven og føres via 2 ledeplader ud 25 cm over jorden. I røret er der desuden monteret 2 brændere til flydende flaskegas. Ved forsøgene er der kørt med en luftgennemstrømning på ca. 50.000 m<sup>3</sup> pr. time og et gasforbrug på ca. 10 kg pr. time i hver brænder. Ved gasafbrændingen kan temperaturen i den gennemstrømmende luft øges med ca. 14 °C.

## Resultater

### Lufttemperaturer i forskellige højder

Lufttemperaturen i 2 og 10 m højde er målt i 3 år i april og en del af maj, i alt 105 nætter, se tabel 1.

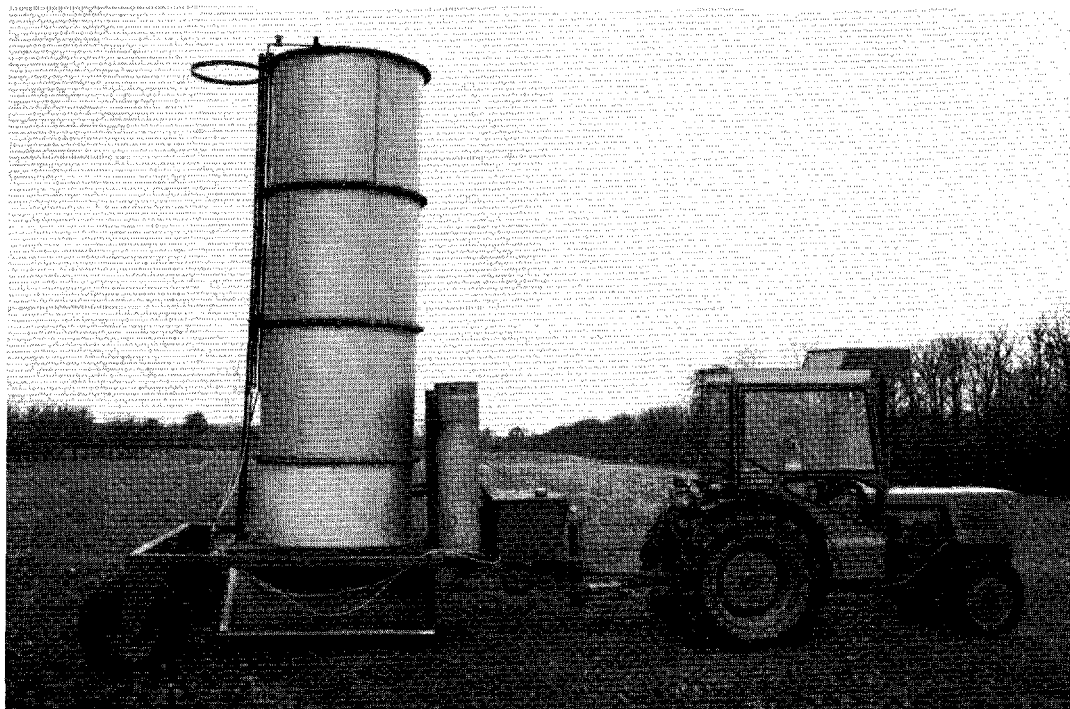


Fig. 1. Blæseren tager luft ind foroven og fordeler den til begge sider forneden.

The blower has air inlet above and distributes the air below to both sides. The fan is placed in the lower section of the tower, and 2 gasburners in the upper section. Capacity: 50.000 m<sup>3</sup> air and 20 kg gas/h.

Tabel 1. Oversigt over måleperioder  
Periods of measurements

År Year	Måleperioder Periods	Målinger udført antal nætter Measurements, number of nights	
		Total	Med min. < 0°C (2 m) With min. < 0°C (2 m)
1979	30/3– 14/5	42	3
1980	1/4– 23/5	38	7
1981	1/4– 29/4	25	13
I alt		105	23

I 20 nætter inden for de angivne perioder er der ikke foretaget målinger, enten på grund af funktionsfejl, eller fordi målingerne blev afbrudt i

korte perioder, hvor der ikke var udsigt til nattefrost. Minimumstemperaturen i 2 m højde faldt under frysepunktet i 23 nætter.

Forskellen mellem temperaturerne i 2 og 10 m højde fremgår af fig. 2. Kurverne er gennemsnit af temperaturforløbet i 7 typiske nætter med frostgrader i 2 m højde. De enkelte nætter afviger væsentligt fra hinanden, både hvad angår min. temperatur og frostens varighed. Alligevel kan kurverne tages som et udtryk for, hvor store gennemsnitsinversioner der kan forekomme i en frugtplantage under de givne forhold. Fra kl. 01 til 07 har der i gennemsnit været 2,0–2,5°C varmere i 10 m end i 2 m højde. I 3 af de 7 nætter var der også frostgrader i 10 m højde, men af kortere varighed end i 2 m højde. Forskellen kan udtrykkes ved frostsummen: antal timer × °C < 0. For de 7 nætter i fig. 2 var frostsummen således ÷ 39,9 i 2 m og ÷ 9,5 i 10 m højde

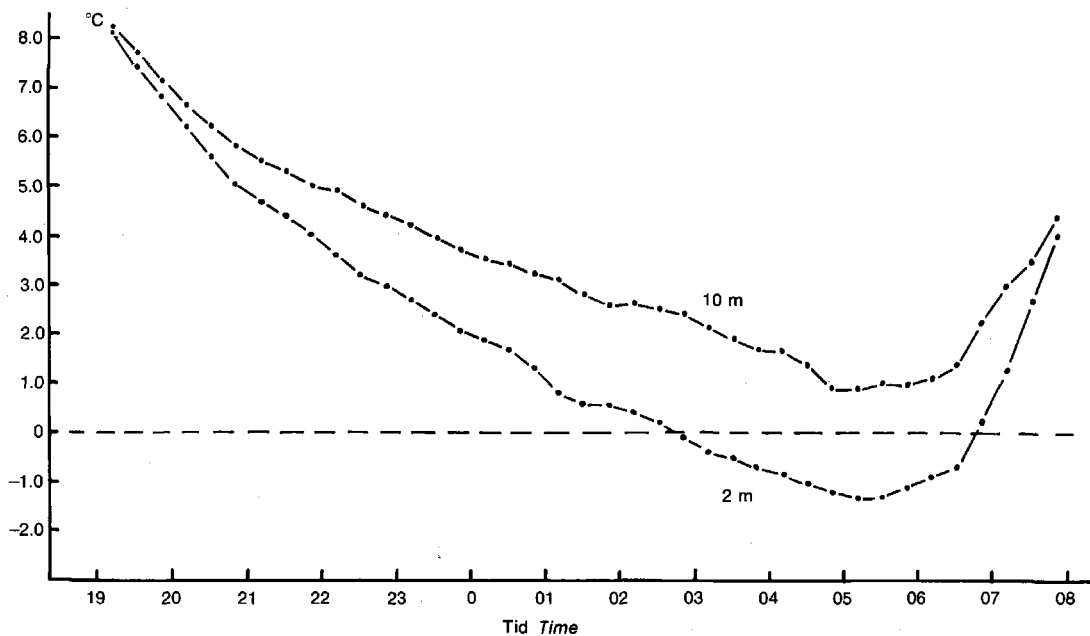


Fig. 2. Temperaturforløbet i 2 og 10 m højde over en æbleplantage i typiske udstrålingsnætter. Gennemsnit af 7 nætter i april-maj 1980-81.

*Temperatures 2 and 10 m above an apple orchard during radiation frost nights. Average of 7 nights in April-May 1980-81.*

Fig. 3 viser temperaturforløbet i de 2 højder natten mellem den 23. og 24. april 1981. Temperaturen faldt da til ca.  $\pm 7$  °C i 2 m højde, den laveste, der er registreret i forsøgsperioden. De lave temperaturer var ledsaget af sne. Allerede om aftenen faldt der let sne i måleområdet, og igen kl. 02-03 kom en kraftig snebyge, som forårsagede en midlertidig temperaturstigning i 2 m højde (udstråling forhindres). Efter snefaldet foregår udstrålingen uhindret, og sneen virker som et isolerende lag, som hindrer varmetransporten fra jord til luft. Dette er årsagen til det store temperaturfald nær jorden, mens temperaturen i 10 m højde lå ret konstant mellem  $\pm 2$  og  $\pm 3$  °C natten igennem.

Samme nat anrettedes betydelige skader på frugtplantager i de områder af landet, hvor der faldt sne. Så lave temperaturer er dog usædvanlige for årstiden.

Fig. 4 viser temperaturer i både luft og knop i en

typisk frostnat. I perioder kan knopperne være op til 1,5 °C koldere end luften. I gennemsnit af tiden mellem kl. 01-07 er der en forskel på 0,8 °C, som er på linie med tidligere målinger (Grauslund & Hansen, 1980). De hyppige ændringer i forholdet mellem luft- og knoptemperaturerne kan skyldes ændringer i luftbevægelser og udstrålingsbetingelser. Temperaturforskellen vil blive størst, når udstrålingen er stor og luftbevægelsen minimal eller nul. Samme nat måltet også jordtemperaturen (1 cm dybde) og lufttemperaturen i 0,2, 1,0 og 4,0 m højde. Gennemsnitsværdier for perioden kl. 01-07 af disse målinger, samt af de i fig. 4 viste, fremgår af fig. 5. Knopperne afkøles mest og er koldere end luften i samme højde og jorden i 1 cm dybde. Der er en temperaturstigning fra 1 m til 10 m højde. Tidsforløbet antyder, at der i nattens løb dannes et højere og højere lag af kold luft fra jordoverfladen og op i 4 m højde (ikke vist).

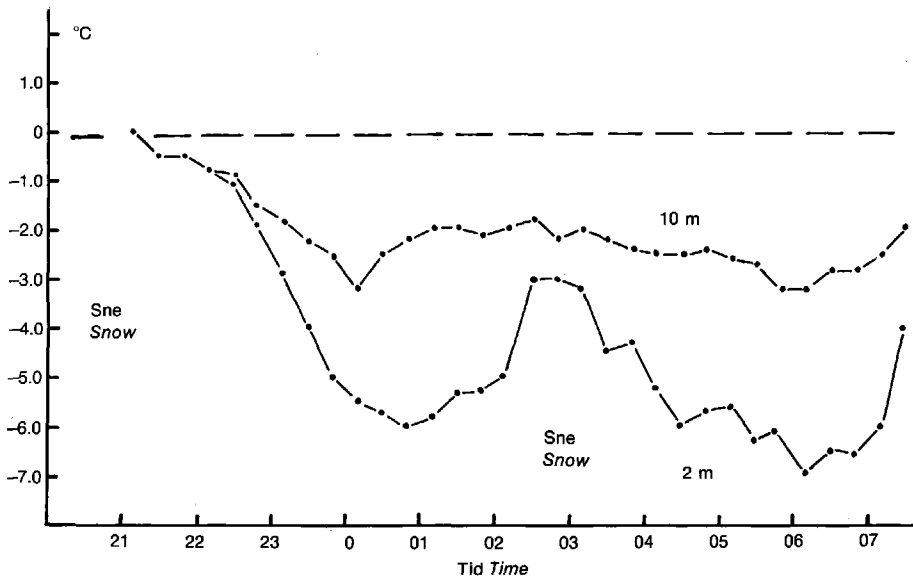


Fig. 3. Temperaturforløbet i 2 og 10 m højde natten mellem den 23. og 24. april 1981, hvor de laveste temperaturer i forsøgsperioden blev registreret. Der faldt sne allerede først på aftenen.  
*Temperatures at 2 and 10 m during the night April 23-24, 1981, with the lowest spring temperatures during 1979-81. Snow fell during early evening and again at 02-03 a.m.*

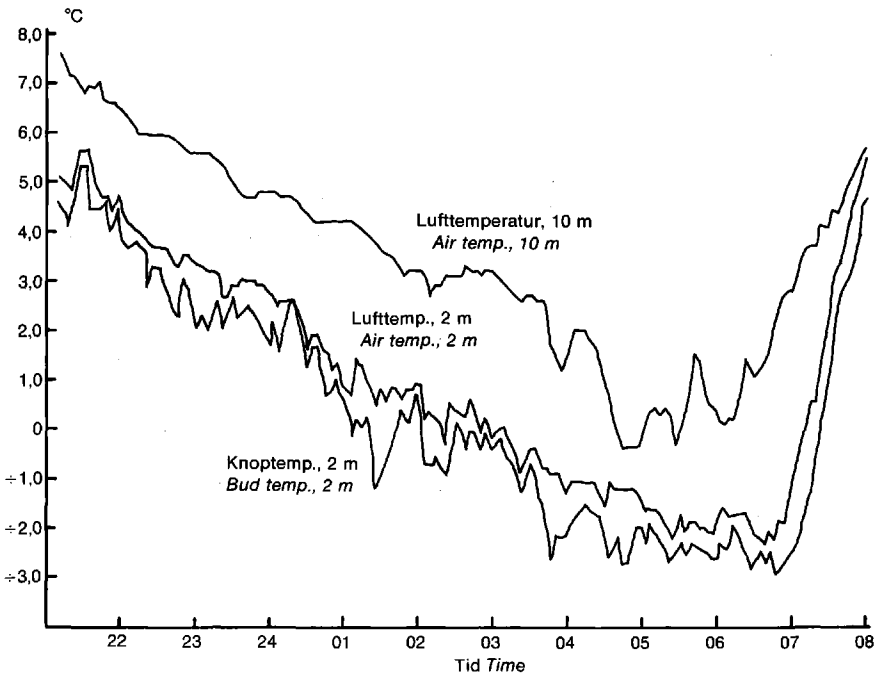


Fig. 4. Lufttemperatur i 2 og 10 m højde samt knoptemperatur i 2 m højde natten den 12. og 13. april 1981.  
*Air temperatures at 2 and 10 m and bud temperature at 2 m during the night April 12-13, 1981.*

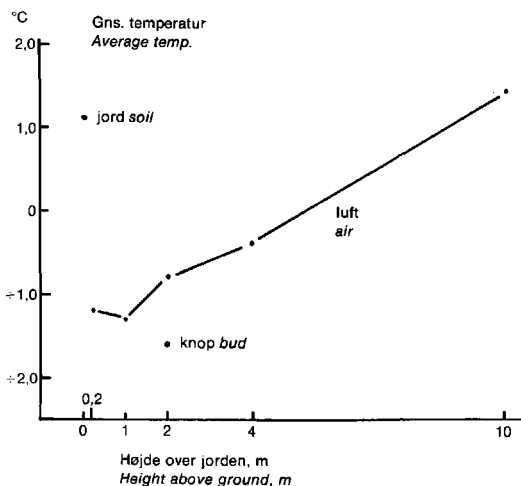


Fig. 5. Gennemsnitstemperatur i tiden kl. 01–07 den 13. april 1981 i luften i forskellige højder, i en knop (2 m) og i jorden (1 cm dybde).

*Average temperatures during 01–07 a.m. April 13, 1981, at different heights, in a bud (2 m), and 1 cm below soil surface.*

## Forsøg med blæser

### a. Stationær drift

Blæseren blev i nogle forsøg afprøvet stationært for dens evne til at blande luft fra større højder med luften omkring træerne. Et eksempel er vist i fig. 6. Ved forsøgets begyndelse var der en inversion på 3,2 °C og ved afslutningen 2,6 °C. I 2 og 12 m afstand fra blæseren er der opnået en forøgelse af lufttemperaturen i 2 m højde på ca. 1,5 °C. Et forsøg i 17 m afstand fra blæseren viste også en temperaturstigning – ca. 0,5 °C (ikke vist). I 22 m afstand kunne der ikke spores nogen virkning. Temperaturen i 10 m højde tyder på, at blæseren kan trække varmere luft ned fra større højder.

I tabel 2 ses resultater af 2 tilsvarende forsøg. Her var inversionerne mindre, og de opnåede temperaturstigninger ofte under 1 °C.

Tabel 2 viser også forsøgsresultater ved stationær drift og opvarmning af luften ved gasafbrænding. Inversionerne var under disse forsøg endnu mindre, hvorfor direkte sammenligninger med forsøgene uden opvarmning ikke er mulig.

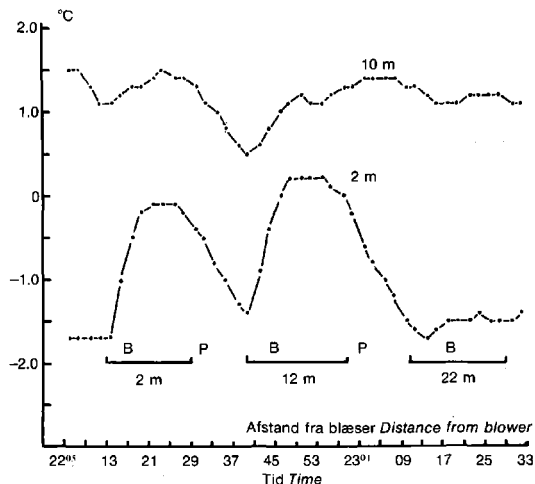


Fig. 6. Temperaturer i 2 og 10 m højde under forsøg med stationær drift af blæser uden varme i 3 forskellige afstande fra målepunkterne. 4. april 1980. B = Blæsning, P = Pause.

*Air temperatures during stationary running of the blower without heat at 3 distances from temperature sensors.*

Temperaturstigningerne ligger oftest mellem 1,0 og 1,5 °C i 2 til 17 m afstand fra blæseren.

En detaljeret fremstilling af variationen i følerens udslag under forsøget den 23. april 1981 fremgår af fig. 7, venstre halvdel. Følerens numre og placering fremgår af fig. 8. Blæseren arbejdede stationært i tiden 0137–0154 ud for linien af målepunkter på position A. Termoelementerne (føler nr. 1–7) angiver ændringer i lufttemperaturen i forhold til tiden umiddelbart før, blæseren blev startet. Modstandstermometrene (nr. 8 og 9) angiver temperaturen i henholdsvis 2 og 10 m højde. I 2 m afstand og i samme højde som blæserens udmundning (0,2 m) stiger temperaturen 5–6 °C under forsøget. I 2 m højde er stigningen langt mindre.

Gennemsnitsværdier for 2, 7, 12 og 17 m afstand findes i tabel 2. Luften i 2 m højde er herved blevet varmere end i 10 m højde, hvorfor den opvarmede luft vil stige til vejrs og gå tabt. I nabomarken 65 m fra måleområdet har der været et svagt temperaturfald under forsøget (føler nr. 7).

**Tabel 2.** Oversigt over temperaturstigninger (°C) i forsøg med stationær drift af blæser med eller uden varme. Temperaturstigninger i 2 m højde i forskellig afstand fra blæseren i forhold til temperaturen før forsøg  
*Increase in °C at 2–22 m distance (2 m height) from stationary blower with or without added heat*

Tidspunkt	Afstand fra blæser, m					Inversion*) °C
	2	7	12	17	22	
<i>Uden varme, without heat</i>						
4/4–80 .....	1.5	–	1.6	0.5	0	3.2
15/4–80 .....	1.1	1.0	1.0	0.7	0.4	2.1
6/4–81 .....	1.3	0.8	–	1.0	0.7	2.5
<i>Med varme, with heat</i>						
15/4–80 .....	1.6	1.3	1.1	0.3	0	2.1
18/4–81 .....	1.1	1.0	1.5	1.0	–	1.2
do .....	–	0.9	1.6	1.1	0.3	1.2
23/4–81 .....	1.3	0.8	1.7	1.5	–	1.2
do .....	1.5	1.0	1.2	1.5	–	1.5

\*) Temperaturforskel 2–10 m. *Temp. difference 2–10 m*

#### b. Kørsel med blæser + opvarmning

Fig. 7, højre halvdel, viser temperaturændringer ved kørsel rundt om måleområdet med en hastighed på 1,1 m/sek. (4 km/time). Øverst er det angivet, på hvilke tidspunkter målelinien passeres ved A og B. I forhold til stationær drift er udslagene nær jordoverfladen under kørsel kun ca. halvt så store, men i 2 m højde af samme størrelsesorden. 12 og 7 m afstand er udslagene tydelige, men allerede 12 m fra blæseren bliver påvirkningen utydelig. De maksimale udslag er ganske kortvarige, og efter 2 minutter er temperaturerne i de fleste tilfælde tilbage ved udgangspunktet. I naboarealet er temperaturen igen faldet svagt under forsøget.

Den korte varighed af temperaturstigningen kan skyldes, at der var en svag luftning fra sydvest og en meget lille inversion i området. Lignende forsøg har været udført i andre nætter, men resultaterne afviger ikke væsentligt fra ovenstående. Der er ikke opnået temperaturstigninger på mere end 2–3 minutters varighed.

#### Diskussion

I typiske frostnætter er der fundet en gennemsnitlig inversion fra 2 til 10 m højde på 2,0–2,5 °C. I korte perioder har inversionen været op til 3,5 °C. Disse værdier stammer kun fra et måleområde

og kan næppe antages at gælde generelt. De stedlige terrænforhold, jordbundens beskaffenhed og evt. bevoksning kan påvirke luftbevægelser og temperaturforhold og dermed også betingelserne for etablering af en inversion. Engelske undersøgelser viser temperaturforskelle mellem 1,5 og 15 m på 3–4 °C i frostnætter i april–maj (Hamer, 1975). I Californien varierer inversionernes styrke mellem 3 og 6 °C (fra 2 til 10 m) i januar–februar. Temperaturen kan stige yderligere 1–2 °C op til 18 m højde (Kepner, 1951).

Frostbekæmpelse ved udnyttelse af varmen i højere luftlag forudsætter en tilstrækkelig inversion. Westwood (1978) angiver, at temperaturen skal være 5–8 °C højere i 15 m højde for at vindmaskiner kan være effektive. Ballard (1981) mener, at maskinerne er anvendelige allerede ved 2 °C inversion (personlig meddelelse). Der må da suppleres med oliebrændere under ugunstige forhold (Ballard & Proebsting, 1978).

Inversioner på 2,0–2,5 °C som fundet i denne undersøgelse ligger således på grænsen af det minimums krav, der må stilles for en effektiv udnyttelse. Kun bestemmelse af temperaturforholdene på en given lokalitet kan afgøre, om inversionen er tilstrækkelig. Det skal dog understreges, at en effektiv nedblanding af varmere luft foruden den egentlige temperaturstigning også vil afkorte

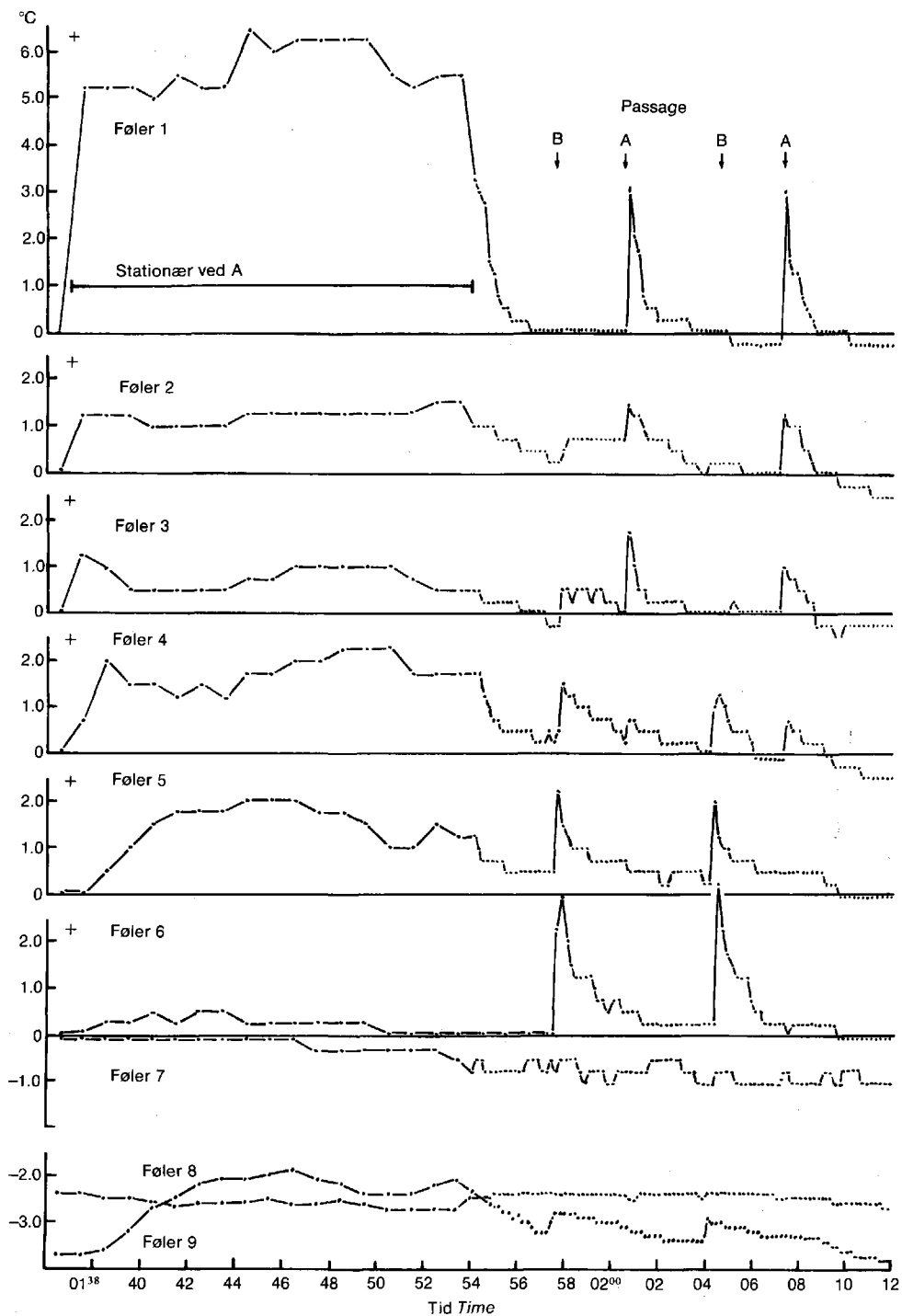


Fig. 7. Temperaturændringer under afprøvning af blæseren med luftopvarmning. Følernes placering i måleområdet fremgår af fig. 8. Venstre halvdel: ved stationær drift på position A. Højre halvdel: under kørsel rundt om måleområdet. Pilene angiver tidspunkter for passage af A og B. Se i øvrigt teksten.

Temperature changes during a test of the blower with air heating. Placement of temperature sensors is shown in Figure 8. Left part: during stationary running at position A. Right part: during driving around the 4 rows of trees from A to B (speed: 1.1 m per sec.). Arrows indicate times of passing A and B. Sensor no. 1-7 (thermocouples) indicate changes compared to starting point. Sensor no. 8 and 9 (resistance thermometers) show actual temperatures.



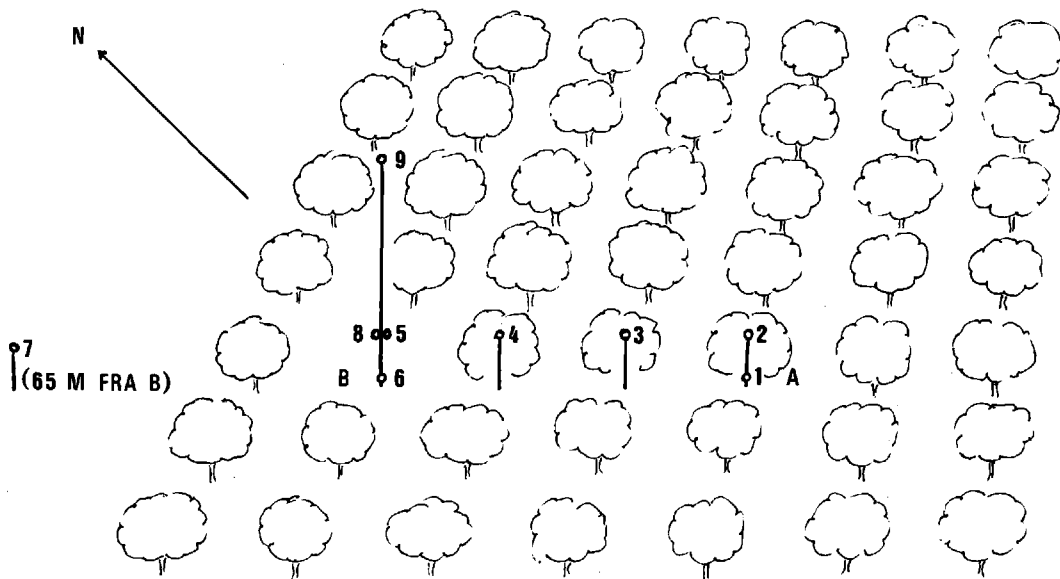


Fig. 8. Måleområdet med følerens numre og placering under forsøget i fig. 7. Højdeplacering: føler nr. 1 og 6: 0,20 m; nr. 2, 3, 4, 5, 7 og 8: 2,0 m, nr. 9: 10,0 m.

Arrangement of temperature sensors in the orchard during the experiment in Figure 7.

frostperiodens længde, samt at luftbevægelsen vil mindske den temperaturforskelle, der opstår mellem luft og knopper i stillestående luft (Landsberg et al., 1974). Under forudsætning af tilstrækkelig stor inversion vil luftblanding formentlig kunne nedsætte hyppigheden af frostskafer.

Forsøgene med luftblæseren har i mange tilfælde været udført under mindre gunstige forhold. Der har således ofte været svage luftninger og ret små inversioner i området. Ved stationær drift med eller uden varmetilførsel fandtes en rækkevidde på op til 20 m, svarende til et cirkulært areal på ca. 1250 m<sup>2</sup>. Ved kørsel i plantagen er rækkevidden mindre, næppe over 10–15 m, og temperaturstigningernes varighed ikke over 2–3 min. Selv under gunstige forudsætninger (rækkevidde 2 × 15 m, varighed 4 min., kørehastighed 6 km/time) vil det beskyttede areal ikke overstige ca. 1 ha. Den anvendte blæser er derfor ikke egnet til beskyttelse af større arealer.

Den mest anvendte frostbeskyttelsesmetode er som tidligere nævnt overbrusning med vand.

Metoden ser dog ud til at være uegnet i kirsebær. Zahn (1981) og Grunow (1981) angiver, at frugtsetningen er meget lille i træer, der blev frostvandet, selv om blomsterne tilsyneladende er friske. Ballard (1981) meddeler, at overbrusning ikke anvendes i kirsebær i Washington på grund af øget risiko for sygdommen *Coryneum* blight (personlig meddelelse). Dertil kommer, at de ret tynde grene i surkirsebær ofte er for svage til at bære et tykt islag. Derfor er der behov for en alternativ metode til denne kultur.

#### Litteratur

- Ballard, J. & Proebsting, E. L. (1978): Frost and frost control in Washington orchards. – Extension Bulletin 634. Cooperative Extension Service, College of Agriculture, Washington State University. 26 pp.
- Grauslund, J. & Hansen, P. (1980): Blomsterknoppers frostfølsomhed hos surkirsebærarten 'Stevnsbær'. Tidsskr. Planteavl 84, 37–43.
- Grunow, J. (1981): Beobachtungen und Erfahrungen aus zweijähriger Frostschutzberechnung im Hamburger Gebiet der III. Meile. Mitt. OVR 36, 288–302.

- Hamer, P. J. C.* (1975): Physics of frost. In 'Climate and Orchard' (Ed. *H. C. Pereira*). CAB, England, 66-73.
- Kepner, R. A.* (1951): Effectiveness of orchard heaters. Bull. Calif. Agric. Exp. Stn. 723, 1-30.
- Landsberg, J. J., Butler, D. R. & Thorpe, M. R.* (1974): Apple bud and blossom temperatures. J. hort. Sci. 49, 227-239.
- Westwood, M.* (1978): Temperate zone pomology. - Freeman and Co. USA. 428 pp.
- Zahn, F. G.* (1981): Bericht über die Süsskirchenführung 1981. Mitt. OVR 36, 364-377.

Manuskript modtaget den 25. marts 1982.