

## Vandforbrug i vårbyg i relation til jordbearbejdning og halmnedmuldning

*Actual evapotranspiration in spring barley in relation to soil tillage and straw incorporation*

**Jørgen Djurhuus**

### Resumé

Evapotranspirationen i vårbyg blev bestemt i vækstsæsonen ved forskellig jordbearbejdning (pløjning og fræsning), halmhåndtering (med og uden halmnedmuldning) og N-gødskning.

Forsøget blev udført på en fin lerblandet sandjord (1982–84), en morænelerjord (1983–84) og en marskjord (1982–84).

Forsøgsårene har på alle lokaliteter indeholdt år, hvor der har været henholdsvis vandmangel og en god vandforsyning.

Der blev kun fundet svag virkning af jordbearbejdning og halmhåndtering på planternes vandforbrug.

Stigende N-gødskning medførte på sandjorden en mindre stigning i evapotranspirationen – mest udpræget i år med tørke. På de 2 lerjorde var der kun svage tendenser til en kvælstofeffekt.

Der var ingen vekselvirkninger af betydning.

Med hensyn til sammenhæng mellem de målte forskelle i evapotranspirationen og udbytter blev der for jordbearbejdning og halmhåndtering generelt ikke fundet noget sammenhæng.

Merudbytte som følge af stigende N-gødskning skyldes kun i ringe grad en forbedret vandoptagelse.

Alt i alt tyder forsøget på, at udbytteforskelle i relation til jordbearbejdning og halmnedmuldning under danske klimaforhold kun i ringe grad kan forklares ud fra planternes vandforbrug.

**Nøgleord:** Vandforbrug, vårbyg, jordbearbejdning, halmnedmuldning, N-gødskning.

### Summary

Actual evapotranspiration was estimated in spring barley in relation to soil tillage (ploughing and rotor cultivation), straw handling (with and without straw incorporation) and N-application.

The experiments were carried out on a loamy coarse sand (1982–84), a sandy loam (1983–84) and a fine sandy loam (marsh soil) (1982–84). At all locations the investigations were carried out in both wet and dry periods of growth.

There was only a slight trend on the actual evapotranspiration as a result of soil tillage and straw incorporation.

The differences in actual evapotranspiration caused by different soil tillage practices and straw treatments were in the order of 0.5–5%.

The greatest effects were found on the sandy soil, where rotor cultivation in 2 out of 3 years resulted in greater actual evapotranspiration. On the sandy loam and the marsh soil ploughing resulted in a greater actual evapotranspiration.

Increased N-application resulted in a slight increase in the actual evapotranspiration. This effect was most significant with increased water deficit and was most distinct on the sandy soil.

There was no interaction of any significance.

Generally, there was no relationship between the difference in actual evapotranspiration and yield in relation to soil tillage and straw handling. However, on the sandy soil and the sandy loam the effect of soil tillage on the actual evapotranspiration was able to explain, in part, the difference in yield. On the sandy loam ploughing resulted in increased yield while the results on the sandy soil were ambiguous.

Increased yield with increased N-application was only slightly correlated with greater water uptake.

The experiment shows that yield difference in spring barley resulting from soil tillage and straw incorporation under Danish weather conditions, cannot be explained in terms of the water supply.

**Key words:** Actual evapotranspiration, spring barley, soil tillage, straw incorporation, N-application.

## Indledning

På baggrund af de senere års stigende interesse for reduceret jordbearbejdning og halmnedmuldning blev der i 1980 ved Statens Forsøgsstation, Højer, igangsat undersøgelser til belysning af, hvordan disse faktorer påvirker en række jordfysiske parametre. Endvidere er det blevet undersøgt, om det med de omtalte dyrkningsforanstaltninger er muligt at påvirke planternes vandforsyning – specielt med henblik på at forbedre planternes vandforsyning i tørkeperioder.

En afgrødes vandforbrug vil ud over de klimatiske forhold være bestemt af mængden af plantetilgængeligt vand i jorden, planternes rodudvikling, bladarealindeks og forskellige morfologiske og fysiologiske faktorer, f.eks. plantefarve og modningsgrad.

Mængden af plantetilgængeligt vand vil være bestemt af porevolumen og porestørrelsesfordeling. Disse størrelser bestemmes primært af jordtypen og vil kun i ringe grad påvirkes af jordbearbejdning og halmnedmuldning (9, 10), hvilket også er blevet bekræftet af endnu ikke publicerede undersøgelser ved Statens Forsøgsstation, Højer.

Desuden kan jordbearbejdning og halmnedmuldning muligvis påvirke forholdet mellem fordampningen fra selve jordoverfladen og transpirationen. *Heinonen* (9) påpeger dog, at dette forhold normalt ikke vil kunne ændres af betydning,

hvilket også resultater af *Ehlers og van der Ploeg* (6) viser.

Hvor stor en del af det plantetilgængelige vand, der kan optages, vil være bestemt af rodtybde og -intensitet, idet modstanden mod vandets bevægelse øges stærkt med stigende udtørring. Endvidere vil vandtransport til rodzonen ved kapillær stigning kun sjældent kunne kompensere for den af planterne optagne vandmængde (1).

En forbedret vandoptagelse som følge af jordbearbejdning og/eller halmnedmuldning må med baggrund i ovenstående derfor først og fremmest forventes at være et resultat af en forbedret rodudvikling. Det skal bemærkes, at der med den anvendte målemetode, hvor det er evapotranspirationen, man estimerer, ikke er muligt at skelne mellem fordampning fra jordoverfladen og transpiration.

## Forsøgsbeskrivelse

### *Forsøgsarealer og forsøgsplan*

Målingerne blev foretaget i et forsøg med halmnedmuldning kombineret med forskellig jordbearbejdning på en fin lerblandet sandjord (Borris, JB4) samt 2 lerjorde, henholdsvis en morænelerjord (Rønhave, JB6) og en marskjord (Højer, JB6). Tekstur fremgår af tabel 1.

En nærmere beskrivelse af jordtyperne er udarbejdet af *Hansen* (8).

**Tabel 1.** Tekstur angivet i vægt%  
*Texture, weight per cent.*

	Dybde, cm <i>Depth, cm</i>	Org. stof <i>Org. mat.</i>	Ler <i>Clay</i>	Silt <i>Silt</i>	Finsand <i>Fine sand</i>	Grovsand <i>Coarse sand</i>
Borris . . . . .	0-20	2,9	5,9	9,6	50,4	31,2
	20-40	2,1	5,9	9,6	51,3	31,1
Rønhave . . .	0-20	2,4	11,6	18,4	44,6	23,0
	20-40	1,6	14,6	18,4	46,6	18,8
Højer . . . . .	0-20	3,2	12,8	18,2	64,8	1,0
	20-40	2,3	12,8	16,2	68,1	0,6

Forsøget gennemføres fastliggende og med ensidig vårbyg. De enkelte forsøg er udført siden 1974 (Højer) og 1979 (Borris og Rønhave). Forsøget er anlagt som split-split-plotforsøg i 2 blokke efter følgende plan:

1. Faktor: Jordbearbejdning
  - A. Vinterpløjning til ca. 20 cm dybde
  - B. Fræsning til ca. 10 cm dybde
2. Faktor: Halmhåndtering
  1. Halmen fjernes
  2. Halmen nedmuldes
3. Faktor: Kvælstof
  - x. Normal N-gødskning – 30 kg N/ha
  - y. Normal N-gødskning
  - z. Normal N-gødskning + 30 kg N/ha

*Metodik og måleprogram*

Jordens vandindhold blev bestemt vha. neutronmoderationsmetoden, som bl.a. er udførlig beskrevet af Ølgård (14), Ljunggren (11), Saare (13) og Danfors (4). Målingerne blev foretaget i aluminiumrør, der hurtigst muligt efter såning om foråret blev sat ned i jorden. Jordens vandindhold blev derefter med ugentlige intervaller bestemt gennem hele vækstsæsonen. Måleprogram fremgår af tabel 2.

Til bestemmelse af tør volumenvægt i hver enkelt måledybde blev der ved 1. måling foretaget både gamma- og neutronmålinger. De beregnede værdier for tør volumenvægt er anvendt som grundlag for valg af kalibreringsligninger ved beregning af jordens vandindhold med neutronmoderationsmetoden.

Til beregning af ændring i jordens vandindhold

**Tabel 2.** Måleprogram for neutronmålinger. Tallene angiver antal neutronrør i hver af forsøgsleddene pløjning uden halm, pløjning med halm, fræsning uden halm og fræsning med halm i hver blok.

*Numbers of neutrontubes for the treatments ploughing without straw, ploughing with straw, rotor cultivation without straw and rotor cultivation with straw for each block.*

Måleperiode <i>Measuring period</i>		Måledybde, cm <i>Measuring depth</i>	Kvælstofniveau, kg N/ha <i>N-application</i>		
			normal-30	normal	normal +30
16/4- 2/8 1982	Borris	10,20,40,60,80	1	1	1
12/5-17/8 1982	Højer	10,20,40,60,80		1	
31/5- 9/8 1983	Borris	10,20,30,40,50	3	1	1
8/5- 8/8 1984		60,80,100,120			
3/6-18/8 1983	Rønhave	10,20,30,40,50	3	1	1
10/5-17/8 1984		60,80,100,120			
3/6-17/8 1983	Højer	10,20,30,40,60	3	1	1
4/5-16/8 1984		80			

over en given dybde og i et givet tidsrum kan følgende ligning opstilles:

$$\Delta W_{(a-b)} = W_{(a-b)t} - W_{(a-b)t-1}$$

hvor  $W_{(a-b)}$  er vandindhold i dybde a til b, mm,  $\Delta W_{(a-b)}$  er ændring i vandindhold i dybde a til b, mm, t angiver tiden.

Aktuelt vandforbrug beregnes efter

$$E_a = \Delta W_{(0-max)} + N$$

hvor  $E_a$  er aktuel evapotranspiration, mm,  $\Delta W_{(0-max)}$  er ændring af jordens vandindhold fra jordoverfladen ned til maksimal måledybde, mm, N er nedbør, mm.

Brug af denne ligning forudsætter, at der ikke finder afstrømning sted.

Det skal bemærkes, at denne metode ikke – da målingerne er diskontinuerlige – giver mulighed for at bestemme, fra hvilke jorddybder nedbøren er blevet optaget.

Der blev endvidere foretaget tensiometermålinger til bestemmelse af vandskellets dybde for derved at kunne kvantificere evt. afstrømning fra rodzonen.

Dette gjaldt dog ikke Borris 1982 og Rønhave og Højer 1983, hvor evt. afstrømningsperioder er blevet bestemt ud fra vol. % vand i maksimal måledybde sammenlignet med markkapacitet i samme dybde.

Der er i ingen af årene konstateret afstrømning af betydning i måleperioderne, hvorfor der ikke her skal opstilles ligninger til beregning af evt. afstrømning. Der har sandsynligvis i Borris 1982 og Rønhave og Højer 1984 i første halvdel af måleperioderne fundet en ringe afstrømning sted, som det dog ikke ud fra de foreliggende målinger er muligt at kvantificere.

#### *Kalibrering af måleudstyr og målesikkerhed*

Sikkerheden på bestemmelse af vol. % vand vha. neutronmoderationsmetoden vil for en given parcel og dybde være bestemt af følgende faktorer:

1. Usikkerhed på den enkelte måling. Antal målinger pr. rør og dybde og måletid herpå.
2. Fejl ved omregning fra neutrontælletal til vol. % vand.
3. Jordvariationen inden for den givne parcel og antal rør pr. parcel.

Gennem projektperioden er der foretaget en række undersøgelser til belysning af disse forhold. Resultaterne heraf er samlet i en intern rapport, som kan fås ved henvendelse til Statens Forsøgsstation, Højer.

Rapporten indeholder desuden beregninger over, hvor store forsøgsforskelle på ændring i jordens vandindhold der kan forventes at kunne afdekkes med 95% signifikans i forhold til antal blokke ved split-split-plotforsøg.

#### *Statistisk behandling*

Der er for hver lokalitet og hvert år foretaget variansanalytiske beregninger på ændring i jordens vandindhold over følgende dybder: 0–20 cm, 20–40 cm, 0–40 cm og 0-maksimal måledybde.

Beregningerne er gennemført for 2 perioder på en måde, så de bedst muligt dækker perioderne fra spiring til skridning og fra spiring til lige før høst. Undtaget herfra er dog Højer, 1982, hvor måleudstyret først blev etableret ca. 1 måned efter spiring, og samtlige lokaliteter i 1983, hvor målingerne først startede omkring den 1. juni pga. det meget våde forår.

For hver enkelt periode og måledybde er der foretaget variansanalytiske beregninger ved hver enkelt N-niveau (split-plot-variensanalyse) og for de 3 N-niveauer samlet (split-split-plot-variensanalyse).

På samme måde er udbytteforholdene vurderet.

#### **Resultater og diskussion**

##### *Udbytter*

I tabel 3 er udbytter, udbytteforskelle og signifikansniveauer angivet.

Udbyttetallene er angivet for hvert N-niveau.

Som det fremgår, har der kun i 2 tilfælde været

**Table 3.** Udbytte og udbytteforskelle i hkg bygkerne pr. ha, aktuel fordampning ( $E_a$ ) i mm og transpirationskoefficient i mm/hkg kerne. Ved udbytteforskelle er det kun angivet, hvis der har været signifikans.

*Yield and difference in yield, hkg barley per hectare. Actual evapotranspiration ( $E_a$ ), mm. Transpirationscoefficient, mm per hkg. Blank at the difference of yield = no significance.*

	Borris			Rønhave		Højer		
	1982	1983	1984	1983	1984	1982	1983	1984
<b>Udbytte Yield</b>								
N-30	41,2	18,2	52,0	35,0	49,2		19,9	43,5
N	48,4	29,2	55,9	44,1	51,2	55,5	28,9	51,5
N+30	54,1	39,5	61,1	50,1	49,9		35,0	55,6
<b>Pløjning – fræsning Ploughing – rotor cultivation</b>								
N-30	-3,4	5,9	6,5	-0,1	5,0		-3,5	0,9
N	-2,5	2,9	5,4*	2,2	4,1	2,6	-0,8	-2,6
N+30	-3,5	-2,7	2,3	2,6	3,1*		-1,2	-2,1
Gns. over kvælstof Mean of N-application	-3,2	2,1	4,7	1,6	4,1		-1,8	-1,3
<b>Halm fjernet – halm nedmuldet Without straw incorporation – straw incorporation</b>								
N-30	1,5	-1,1	2,3	2,9	0,4		0,1	-3,0
N	1,5	-2,5	-0,2	-0,5	-2,0	0,6	-1,4	-4,2
N+30	0,8	-4,1	-0,2	-0,3	-0,2		-1,8	-0,1
Gns. over kvælstof Mean of N-application	1,3	-2,6	0,6	0,7	-0,6		-1,0	-2,4
Kvælstofeffekt Effect of N-application	***	***	***	***	n.s.		***	***
<b>Vekselvirkninger Interactions</b>								
Faktor 1×2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.
Faktor 1×3	n.s.	**	*	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.
Faktor 2×3	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.
Faktor 1×2×3	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.
<b><math>E_a</math></b>								
N-30	217	195	263	193	260		180	217
N	230	205	266	200	267	200	180	217
N+30	240	231	279	205	277		185	222
<b>Transpirationskoefficient</b>								
N-30	5,3	10,7	5,1	5,5	5,3		9,0	5,0
N	4,8	7,0	4,8	4,5	5,2	3,6	6,2	4,2
N+30	4,4	5,8	4,6	4,1	5,6		5,3	4,0

Faktor 1: Jordbearbejdning *Soil tillage* Faktor 2: Halmhåndtering *Straw handling* Faktor 3: Kvælstofeffekt *Nitrogen*

\*  $P < 0,05$  \*\*  $P < 0,01$  \*\*\*  $P < 0,001$

signifikant effekt af jordbearbejdning, idet pløjning her har givet større udbytte end fræsning.

Halmhåndtering har ingen af årene givet signifikant virkning.

Der har i alle årene – bortset fra Rønhave 1984 – været signifikant virkning af kvælstof. Ved Borris var der i årene 1983 og 1984 vekselvirkning mellem jordbearbejdning og kvælstofniveau, idet forskellen mellem pløjning og fræsning aftog med

stigende gødsning. Endvidere var der i et enkelt år – ved Borris, 1983 – vekselvirkning mellem jordbearbejdning, halmhåndtering og kvælstofniveau, således at der ved laveste N-niveau har været positiv effekt af halm både ved pløjning og fræsning. Med stigende gødsning blev denne effekt mere udpræget ved fræsning, mens den ved pløjning aftog og blev negativ ved højeste N-niveau.

## Vandforbrug

Samlet vandforbrug i forhold til jordtype og udbytte

Alt efter nedbørsmængde og fordeling heraf, potentiel evapotranspiration og rodudvikling vil rodzonen i løbet af vækstsæsonen blive udtørret.

Et eksempel herpå er vist i fig. 1. Tallene er fra Borris 1982, gennemsnit af samtlige forsøgsled.

I tabel 3 er angivet planternes vandforbrug ( $E_a$ ) i vækstsæsonen fra spiring til høst. Måleperi-

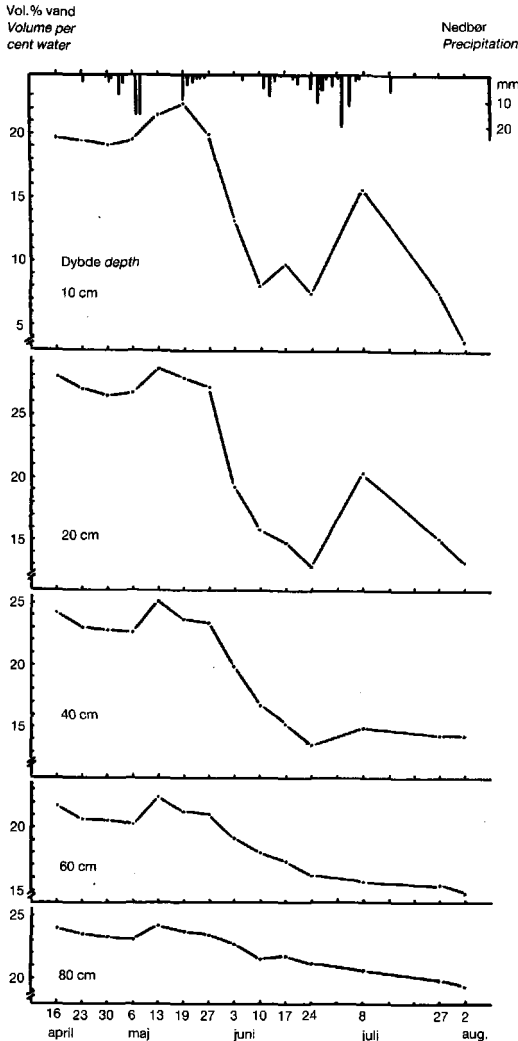


Fig. 1. Jordens vandindhold som funktion af tid og dybde. Borris 1982. Gns. af samtlige forsøgsled.  
Soil water content as a function of time and depth. Borris 1982. Mean of all treatments.

derne dækker ikke fuldstændigt de pågældende vækstsæsoner; derfor er der i starten af vækstsæsonen foretaget ekstrapolation under hensyntagen til potentiel evapotranspiration, planternes udviklingstrin og gennemsnitligt, aktuelt vandforbrug for den pågældende afgrøde og lokalitet jf. Gregersen og Knudsen (7). I slutningen af vækstperioden er der blevet ekstrapoleret under hensyntagen til potentiel evapotranspiration og jordens vandindhold ved sidste måling.

Som gennemsnit af år og steder har det totale vandforbrug været 222 mm. I fig. 2 er vist udbytte som funktion af totalt vandforbrug. Udbytte i kg bygkerne pr. ha pr. mm forbrugt vand, kg/ha/mm, (vandudnyttelsen) er ligeledes indtegnet. Tallene er gennemsnit for hver lokalitet og år.

Hvis vand er den eneste begrænsende vækstfaktor, vil udbyttet stige næsten lineært med øget aktuel evapotranspiration op til nær potentiel evapotranspiration (3). Dette betyder samtidig, at vandudnyttelsen vil være næsten konstant –

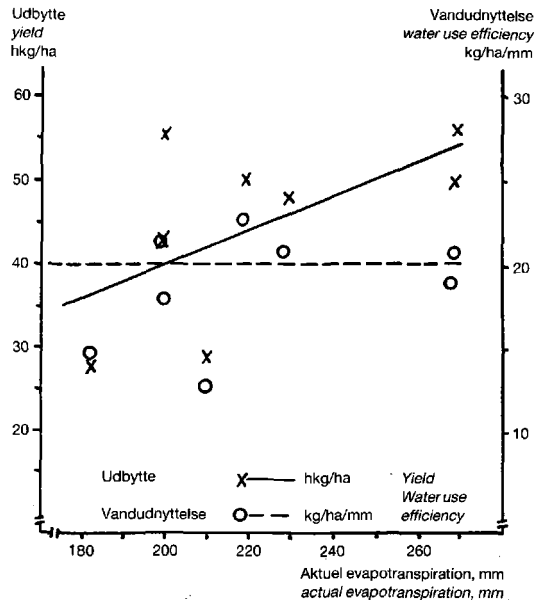


Fig. 2. Udbytte og vandudnyttelse som funktion af aktuel evapotranspiration i vækstsæsonen. Gns. af samtlige forsøgsled pr. lokalitet og år. De ind tegnede linier er ikke regressionsligninger.  
Yield and water use efficiency as a function of actual evapotranspiration. Mean of all treatments for each locality and year. The lines are not regression lines.

evt. aftage svagt – op til nær potentiel evapotranspiration.

Disse forhold er illustreret med de indtegnede kurver i fig. 2. Der er dog ikke taget hensyn til evt. aftagende vandudnyttelse ved nær potentiel evapotranspiration.

Årsagerne til de relativt store udsving fra de indtegnede kurver må være: 1) forskel i nedbørsfordelingen, 2) at andre vækstfaktorer har varieret betydeligt fra år til år.

I tabel 3 er også angivet transpirationskoefficienten, mm vandforbrug pr. produceret hkg bygkerne.

Om forbrug af vand pr. produceret enhed varierer fra sted til sted, er ikke muligt at sige ud fra disse resultater. Gennemsnitstal for transpirationskoefficienten dækkende perioden 1950–69 for 12 forsøgsstationer (incl. Borris og Rønhave) i Danmark viser dog, at denne størrelse i gennemsnit varierer meget lidt fra lokalitet til lokalitet (2).

Af tallene i tabel 3 ses endvidere, at stigende N-gødsning medfører et større udbytte pr. mm forbrugt vand (faldende transpirationskoefficient).

Vandforbrug i forhold til jordbearbejdning, halmhåndtering og N-gødsning

I en bestemt periode, hvor der ikke forekommer afstrømning og vanding, vil  $E_a$  være bestemt af nedbøren (N) og ændringer i jordens vandindhold i de enkelte dybder ( $\Delta W$ ).

I fig. 3–5, som viser nogle af resultaterne, er det dog  $N + \Delta W$ , der er angivet, samtidig med at nedbøren for de pågældende perioder er angivet. Dette er gjort for at vise forholdet mellem ændring i jordens vandindhold og det samlede vandforbrug.

I tabel 4 er angivet ændring i jordens vandindhold for perioden 1. måledato til lige før høst for de enkelte forsøgsbehandlinger. Differencen mellem hovedvirkningerne – pløjning minus fræsning og uden halm minus med halm – er også angivet. Tallene er for 0-maksimal måledybde og gennemsnit af de 3 N-niveauer, idet der generelt ikke har været nogen vekselvirkning af betydning mellem kvælstof og de undersøgte forsøgsbehandlinger.

Det viste talmateriale repræsenterer kun en lille del af det samlede materiale, der er foretaget test på. Ud over dybden 0-maksimal måledybde er der foretaget test for dybderne 0–20 cm, 20–40 cm og 0–40 cm både for hvert enkelt N-niveau og for de 3 N-niveauer samlet. Disse tests blev foretaget for de i tabel 4 angivne perioder, men også for en periode dækkende 1. måledato til omkring skridning.

Den opdeling over dybder, der er foretaget mht. de statistiske tests, er begrundet i, at jordbearbejdning og halmhåndtering først og fremmest påvirker de fysiske forhold i de øverste jordlag.

Når der er valgt kun at medtage det i tabel 4 viste materiale, skyldes det ud over ovennævnte manglende vekselvirkning mellem kvælstof og de undersøgte forsøgsbehandlinger, at de relative forsøgsforskelle for de enkelte dybder og perioder for hvert enkelt måleår har været nogenlunde ens.

I tabel 4 er nedbør for de pågældende perioder også angivet. Forsøgsperioden har for hver enkelt lokalitet indeholdt år, hvor der har været henholdsvis vandmangel og en god vandforsyning.

I Borris 1982 var jorden mættet til omkring markkapacitet indtil slutningen af maj, hvorefter der frem til slutningen af juli, hvor der faldt en del regn, fandt en kraftig udtørring sted. Efter en delvis mætning af de øverste 0–20 cm blev jorden igen udtørret.

I 1983, hvor vækstsæsonen – bortset fra maj måned – var meget nedbørsfattig, fandt der en kraftig udtørring sted af næsten hele rodzonen i løbet af vækstperioden.

I 1984, som mht. nedbørsmængde og fordeling minder om 1982, blev jorden udtørret ned til ca. 60 cm i løbet af vækstperioden.

Rønhave 1983 og 1984 adskilte sig ved at have henholdsvis en meget tør vækstsæson – maj måned 1983 var dog meget nedbørsrig – og en meget nedbørsrig vækstsæson. I 1983 fandt der i løbet af måleperioden en kraftig udtørring sted ned til 120 cm, mens der i 1984 kun i slutningen af henholdsvis juni og juli fandt en udtørring sted og da kun i det øverste jordlag (0–20 cm).

**Tabel 4.** Ændring i jordens vandindhold (mm), difference heraf mellem de 2 hovedvirkninger og signifikansniveauer. Ved forskellene mellem hovedvirkningerne er det kun angivet, hvis der har været signifikans. Tallene er gennemsnit af de 3 N-niveauer.

*Change in soil water content (mm), difference of this between the main factors and niveau of significance. Blank at difference of the main factors = no significance.*

	Borris			Rønhave		Højer		
	1982 16/4- 2/8	1983 31/5- 9/8	1984 8/5- 1/8	1983 3/6- 11/8	1984 10/5- 2/8	1982 <sup>1)</sup> 12/5- 28/7	1983 3/6- 10/8	1984 4/5- 3/8
0-maks. måledybde <i>measuring depth</i>								
Pløjning uden halm <i>Ploughing without straw</i>	66,6	94,0	81,7	125,5	39,2	71,1	93,7	13,0
Pløjning med halm <i>Ploughing with straw</i>	72,0	78,0	85,3	128,2	40,0	64,5	97,2	15,9
Fræsning uden halm <i>Rotor cultivation without straw</i>	69,3	88,9	77,3	126,3	28,8	56,8	90,9	8,8
Fræsning med halm <i>Rotor cultivation with straw</i>	86,0	100,6	73,1	124,0	38,2	68,9	92,7	6,8
Pløjning-fræsning <i>Ploughing-rotor cultivation</i>	-8,4	-8,8	8,3	1,7	6,1	5,0	3,7	6,7
Uden halm-med halm <i>Without straw-with straw</i>	-11,1	2,2	0,3	-0,2	-5,1	-2,8	-2,7	-0,5
Kvælstof <i>Nitrogen</i>	**	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	**	*
Faktor 1×2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Faktor 1×3	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Faktor 2×3	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Faktor 1×2×3	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Nedbør, mm <i>Precipitation</i>	154	68	137	26	176	79	36	177

Faktor 1: Jordbearbejdning *Soil tillage* Faktor 2: Halmhåndtering *Straw handling* Faktor 3: Kvælstofeffekt *Nitrogen*  
\* P < 0,05 \*\* P < 0,01 \*\*\* P < 0,001

<sup>1)</sup> kun målt i normalt gødskede led, *only measured in the treatment with normal N-application.*

I Højer 1982 og 1983 fandt der i begge år ned til 40 cm en kraftig udtørring sted i løbet af vækstsæsonen; mens jorden i 1984 kun periodevis har været udtørret og da kun i de øverste 0–20 cm.

#### *Jordbearbejdning*

I Højer var der i de fleste af de testede perioder/dybder større vandforbrug i de pløjede led i forhold til de fræsede. Den samme tendens gjorde sig gældende i Rønhave, hvor der i næsten alle de testede perioder/dybder var større vandforbrug i de pløjede led i forhold til de fræsede. Dette større vandforbrug har dog kun i enkelte af dybderne/perioderne kunnet testes til signifikans og har generelt i forhold til de beregnede transpirationkoefficienter været af underordnet betydning.

Med hensyn til Borris er billedet ikke nær så entydigt. Her var der i 1982 generelt lidt større vandoptagelse i de fræsede led i forhold til de pløjede. I 1983 var tendensen den samme. Disse forskelle har specielt i 1982 i en del tilfælde kunnet testes til signifikans. I 1984 var der i begyndelsen af vækstperioden og i de øverste jordlag tendenser til en lidt større vandoptagelse i de fræsede led. Dette forhold ændrede sig dog både med dybden og tiden, sådan at der i gennemsnit var større vandoptagelse i de pløjede led. Forskellene var dog generelt små og i de færreste tilfælde signifikante.

#### *Halmhåndtering*

I Højer og Rønhave har der generelt været et lidt



større vandforbrug i leddene med halm end uden. Forskellene var dog generelt små og har kun i enkelte tilfælde kunnet testes til signifikans.

Med hensyn til Borris er billedet ikke nær så entydigt, idet der i 1982 har været en ganske betydelig effekt af halmnedmuldning, som medførte et øget vandforbrug. Forskellene kunne i en del af de testede perioder/dybder testes til signifikans. I 1983, som var det år, hvor planterne var mest tørkeramte, var forholdet omvendt, idet der generelt var et lidt større vandforbrug i leddene uden halm, som dog kun i enkelte af perioderne/dybderne kunne testes til signifikans. I 1984 var der som helhed ingen forskel på leddene med og uden halmnedmuldning.

### N-gødskning

I Højer og Rønhave har der kun været små effekter mht. øget vandforbrug med stigende gøds-

ning, mens der i Borris – specielt i 1982 og 1983 – har været en relativt stor kvælstofeffekt. Resultaterne for hele vækstperioden fremgår af tabel 3, og i fig. 3–5 er resultater fra 1983 vist.

De enkelte figurer viser ændring i jordens vandindhold som funktion af dybde og N-gødskning for måleperioderne 1. måledato til omkring skridning og 1. måledato til lige før høst for Borris (fig. 3), Rønhave (fig. 4) og Højer (fig. 5). Resultater fra 1983 er valgt, fordi det var det år, hvor planterne var mest tørkeramte, og hvor kvælstofeffekten generelt var størst.

Denne øgede evapotranspiration kan skyldes ændringer i bladarealindex, albedo og rodvækst samt en lidt længere vækstperiode før høst med stigende N-gødskning.

Under forudsætning af, at den relative N-effekt mht. bladarealindex og albedo er den samme på de 3 jorde, kan forskellen i N-effekt muligvis skyl-

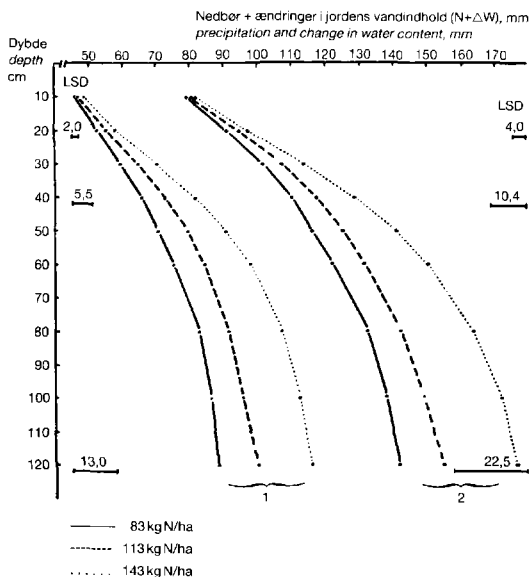


Fig. 3. Planternes vandforbrug. Gns. af samtlige forsøgsled. Borris 1983. 1: 31/5–5/7. N = 41 mm. 2: 31/5–9/8. N = 68 mm.

Water consumption in spring barley. Mean of all treatments. Borris 1983. 1: 31.05.–05.07. Precipitation 41 mm. 2: 31.05.–09.08. Precipitation 68 mm.

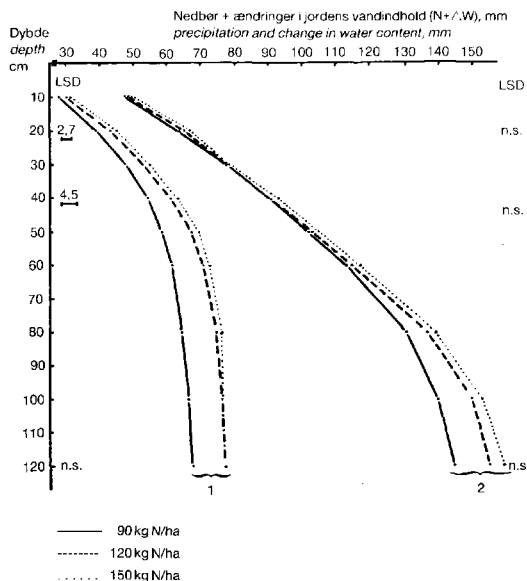


Fig. 4. Planternes vandforbrug. Gns. af samtlige forsøgsled. Rønhave 1983. 1: 3/6–30/6. N = 16 mm. 2: 3/6–11/8. N = 26 mm.

Water consumption in spring barley. Mean off all treatments. Rønhave 1983. 1: 03.06–30.06. Precipitation 16 mm. 2: 03.06.–11.08. Precipitation 26 mm.

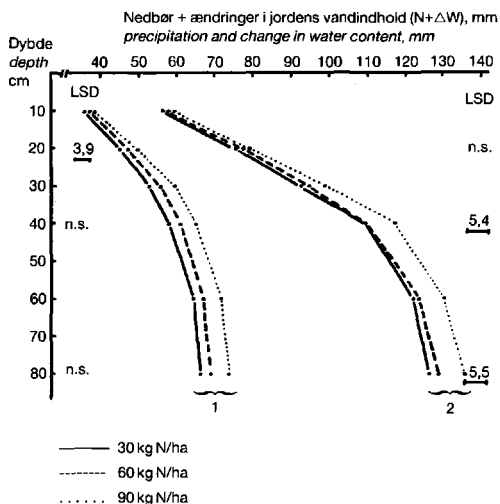


Fig. 5. Planternes vandforbrug. Gns. af samtlige forsøgsled. Højer 1983. 1: 3/6-6/7. N = 23 mm. 2: 3/6-10/8. N = 36 mm.

Water consumption in spring barley. Mean of all treatments. Højer 1983. 1: 03.06.-06.07. Precipitation 23 mm. 2: 03.06.-10.08. Precipitation 36 mm.

des, at betingelserne for rodvækst ved laveste N-niveau i Højer og Rønhave har været nærmere det optimale end i Borris, bl.a. på grund af forskel i N-mineraliseringen i løbet af vækstperioden.

Forskel i N-effekt mellem år på samme lokalitet må skyldes, at roddybde og tæthed har stigende betydning for vandoptagelsen ved stigende udtørring, hvilket betyder, at N-effekten er størst i tørre år.

### Vekselvirkninger

I Højer og Rønhave var der generelt ikke nogen vekselvirkninger af betydning.

I Borris var der specielt i 1982 en del vekselvirkning mellem de 3 faktorer jordbearbejdning, halmhåndtering og kvælstofniveau.

Den mest udprægede effekt var, at øget kvælstofgødskning generelt mindskede evt. forskelle.

De målte vekselvirkninger har dog både i 1982 og i de 3 målear år tilsammen været modstridende

og har generelt – i relation til de udregnede transpirationskoefficienter – været af underordnet betydning.

### Merudbytte som funktion af vandforbrug i relation til jordbearbejdning, halmhåndtering og N-gødskning

For en given lokalitet pr. år og ved et givet N-niveau vil udbyttet, som tidligere nævnt, stige næsten lineært op til potentiel evapotranspiration (3). Dette kan udtrykkes på følgende måde:

$$\text{Udbytte} = \frac{1}{Tr} \times E_a,$$

hvor Tr er vandforbrug pr. produceret enhed (transpirationskoefficienten).

Hvis forskellen i udbytter mellem 2 forsøgsbehandlinger for en given lokalitet pr. år og for et givet N-niveau udelukkende skyldes forskel i vandforbrug, vil følgende gælde:

$$\left[ \frac{(E_{a1} - E_{a2})}{(Udb_{.1} - Udb_{.2})} \right] / Tr = 1,$$

hvor  $E_{a1}$  og  $E_{a2}$  er aktuelt vandforbrug for de 2 forsøgsled, man vil sammenligne, og  $Udb_{.1}$  og  $Udb_{.2}$  tilsvarende udbytter. Tr er vandforbrug pr. produceret enhed (transpirationskoefficienten) beregnet som gennemsnit af de 2 behandlinger, man vil sammenligne.

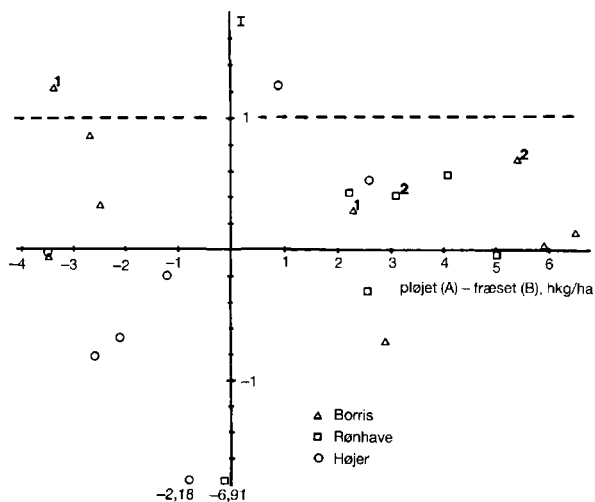
For at vurdere, om de målte udbytteforskelle mellem pløjning og fræsning og mellem fjernelse af halm og halmnedmuldning kan forklares ud fra forskelle i vandforbrug – trods den generelt manglende signifikans både mht. udbyttetallene og vandforbruget – kan på denne baggrund følgende index opstilles for et givet N-niveau:

$$I = \left[ \frac{(E_{a1} - E_{a2})}{(Udb_{.1} - Udb_{.2})} \right] / Tr$$

Hvis  $I \approx 1$ , er dette udtryk for, at de målte udbytteforskelle kan forklares vha. de målte forskelle i aktuel evapotranspiration. Dette er ligeledes tilfældet, hvis  $I > 1$ . Er I-værdierne generelt

større end 1, tyder dette endvidere på, at andre vækstfaktorer har været begrænsende. Hvis  $0 < I < 1$ , vil udbytteforskellene til dels kunne forklares ud fra de målte forskelle i evapotranspirationen. Hvis derimod  $I < 0$ , må udbytteforskellene skyldes andre faktorer.

I fig. 6 og 7 er  $I$  ud fra aktuel evapotranspiration fra 1. måledato til lige før høst angivet som funktion af udbytteforskel mellem pløjet og fræsset (fig. 6) og med og uden halmnedmuldning (fig. 7). Hver værdi repræsenterer et måleår og et N-niveau. Der er endvidere ved hver enkelt værdi angivet, om de forskelle i hhv. vandforbrug og udbytte, som  $I$ -værdierne er udregnet fra, er signifikante.



1. Signifikant forskel i vandforbrug mellem pløjning og fræsning  
Significant difference in actual evapotranspiration between ploughing and rotor cultivation
2. Signifikant forskel i udbytte mellem pløjning og fræsning  
Significant difference in yields between ploughing and rotor cultivation

Fig. 6.  $I$  som funktion af forskel i udbytte mellem pløjet og fræsset. Se tekst for nærmere forklaring.

$I$  as a function of difference between ploughing (A) and rotor cultivation (B).

$$I = \left[ \frac{E_{a1} - E_{a2}}{y_1 - y_2} \right] / Tr,$$

where  $E_{a1}$  and  $E_{a2}$  are actual evapotranspiration during the growth period for treatments 1 and 2 at a certain N-application.  $y_1$  and  $y_2$  are corresponding yields.  $Tr$  is the transpiration coefficient as a mean of the two treatments.

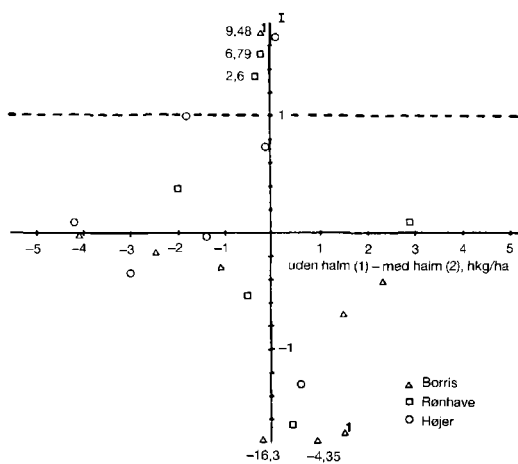
Det skal bemærkes, at ved meget små udbytteforskelle vil usikkerheden på  $I$  være meget stor, hvilket er forklaringen på de henholdsvis meget høje og lave  $I$ -værdier i fig. 6 og 7.

For jordbearbejdningens vedkommende vil nogle af de målte udbytteforskelle i Borris og Rønhave til en vis grad kunne forklares ud fra de målte forskelle i evapotranspirationen. For Rønhave blev der opnået merudbytter ved pløjning, mens billedet for Borris' vedkommende ikke er entydigt, idet der specielt i 1982 er opnået merudbytte ved fræsning samtidig med en større vandoptagelse, mens det omvendte til dels har været tilfældet i 1983.

For Højers vedkommende har der generelt ikke været nogen sammenhæng.

Med hensyn til halmhåndtering viser fig. 7, at der generelt ikke har været sammenhæng mellem merudbytte og forskel i evapotranspiration.

Tilsvarende beregninger blev foretaget ud fra vandforbruget fra 1. måling til omkring skridning både mht. jordbearbejdning og halmhåndtering for at se, om forskellene i denne periode i vand-



1. Signifikant forskel i vandforbrug mellem ± halm  
Significant difference in actual evapotranspiration between ± straw incorporation

Fig. 7.  $I$  som funktion af forskel i udbytte på led uden halm og led med halm. Se tekst for nærmere forklaring.  
 $I$  as a function of difference in yield between without straw incorporation (1) and with straw incorporation (2). See fig. 6 for explanation.

forbruget bedre kunne forklare udbytteforskellene. Dette var imidlertid ikke tilfældet.

Spørgsmålet, om der ved enten pløjning eller fræsning i dette forsøg er opnået en forbedret vandoptagelse, der er af en størrelsesorden, som har betydning for udbyttet, må først og fremmest med baggrund i de udførte variansanalyser, men også med baggrund i de beregnede I-værdier, afvises. Dette er ligeledes tilfældet mht. halmhåndtering.

Med hensyn til kvælstofeffekt på evapotranspiration og udbytte fremgår det af tabel 3, at merudbyttet først og fremmest er et resultat af en bedre udnyttelse af det optagne vand, idet det øgede vandforbrug kun kan forklare en mindre del af merudbytte.

Med baggrund i de relativt små og usikre forsøgsforskelle i vandforbrug og deres betydning for de målte udbytter vil det ikke være relevant her at gå ind i en nærmere diskussion af de forskelle, der trods alt har været, specielt i Borris.

Som der blev nævnt i indledningen, er det ikke muligt med den her anvendte metode at skelne mellem evaporationen og transpirationen. Dette betyder, at vi ikke er i stand til at sige, om der evt. er foregået en forskydning i forholdet mellem disse 2 fordampningsprocesser som følge af forsøgsbehandlingerne. Men som nævnt i indledningen, vil dette forhold normalt ikke kunne ændres af betydning.

På denne baggrund synes det rimeligt at antage, at de målte forskelle i evapotranspiration skyldes forskel i roddybde og -intensitet.

Sammenlagt tyder forsøget dog på, at der kun kan opnås ubetydelige påvirkninger på mængden af plantetilgængeligt vand under danske klimatiske forhold ved henholdsvis pløjning og fræsning og med og uden halmnedmuldning.

Den manglende effekt på vandforbruget af de undersøgte dyrkningsforanstaltninger – og dermed indirekte på rodvæksten – svarer til, hvad en række rodundersøgelser i relation til jordbearbejdning har vist (5, 12).

Endvidere peger orienterende undersøgelser mht. rodintensiteten i pløjelaget i dette forsøg i samme retning.

Der er ikke i litteraturen fundet forsøg, som belyser halmnedmuldningens indflydelse på rodudviklingen, men den generelt manglende effekt på evapotranspirationen tyder på et meget ringe sammenhæng mellem disse 2 faktorer.

### **Konklusion**

Der er generelt kun opnået ubetydelige effekter på vandforbruget ved henholdsvis pløjning og fræsning og med og uden halmnedmuldning. Både for jordbearbejdning og halmhåndterings vedkommende kan et evt. sammenhæng mellem de målte forskelle i evapotranspiration og udbytter afvises. Dog var der tendenser til, at jordbearbejdningens effekt på evapotranspirationen i Borris (fin lerblandet sandjord) og Rønhave (morænelerjord) kunne forklare en – omend ringe – del af de målte merudbytter. Disse tendenser til et sammenhæng mellem udbytteforskelle og forskelle i evapotranspirationen var i Rønhave korreleret med merudbytte for pløjning, mens resultaterne for Borris ikke er entydige.

Stigende N-gødsning resulterede specielt på sandjord i en mindre stigning i evapotranspiration, mens der på de 2 lerjorde kun var svage tendenser.

Der var endvidere ingen vekselvirkninger af betydning.

De opnåede merudbytter som følge af stigende gødsning var først og fremmest et resultat af en bedre udnyttelse af det optagne vand – altså at kvælstof og kun i mindre grad vand har været den begrænsende faktor.

### **Erkendtlighed**

Undersøgelsen blev udført som en del af et projekt vedrørende halmanvendelse finansieret af Landbrugets Samråd for Forskning og Forsøg.

Målinger og opgørelser af resultater m.v. er i en del af forsøgsperioden udført af cand. agro.

*Kenneth Svensson.*

### **Litteratur**

1. *Aslyng, H. C.* 1976. Klima, jord og planter. DSR forlag. Den kgl. Vet.- og Landbohøjskole, 368 pp.

2. *Aslyng, H. C.* 1976 Jordklassificering og høstudbytte i Danmark. Tidsskr. Landøkonomi 163, 345–358.
3. *Aslyng, H. C.* 1978. Vanding i jordbruget. DSR forlag. Den kgl. Vet.- og Landbohøjskole, 167 pp.
4. *Danfors, E.* 1963. Neutronstråling för bestämning av vattenhalt. Grundförbättring 16, 244–255.
5. *Ehlers, W.* 1976. Water uptake by wheat roots in tilled and untilled loess soil. Proc. of the 7th Conf. of the Int. Soil Tillage Res. Org., ISTRO, Uppsala, 10, 1–6.
6. *Ehlers, W. & van der Ploeg, R. R.* 1976. Evaporation, drainage and unsaturated conductivity of tilled and untilled fallow soil. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 3, 373–386.
7. *Gregersen, A. & Knudsen, H.* 1980. Vindhastighed, vandbalance og vandingsbehov 1957–78. Tidsskr. Planteavl 84, 111–161.
8. *Hansen, L.* 1976. Jordtyper ved Statens Forsøgsstationer. Tidsskr. Planteavl 80, 742–758.
9. *Heinonen, R.* 1979. Soil management and crop water supply. Department of Soil Sci. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 106 pp.
10. *Larsen, V. & Øvig, J. K.* 1979. Halm til jordforbedring af sandjord. Hedeselskabets Forsøgsvirksomhed, Meddelelse nr. 8, 15 pp.
11. *Ljunggren, K.* 1963. Översikt av radiometriska principer och metoder inom markfysiken. Grundförbättring 16, 221–232.
12. *Rasmussen, K. J.* 1982. Plant growth and soil physical properties by reduced tillage. Proc. of the 9th Conf. of the Int. Soil Tillage Res. Org., ISTRO, Osijek, 526–531.
13. *Saare, E.* 1963. Gammastråling for bestämning av volymvikt. Grundförbättring 16, 233–243.
14. *Ølgård, P. L.* 1965. On the theory of the neutronic method for measuring the water content in soil. Risø Report No. 98, 44 pp.

Manuskript modtaget den 18. januar 1985.