

Metoder og apparater til vandindholdsbestemmelse i korn.

Af civilingeniør *S. Sonne Kofoed* og amanuensis *T. Tougaard Pedersen*, Afdelingen for landbrugsmaskiner, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole.

Vi bringer her afslutningen af den beretning, som indledes i hæfte 7—8 om de undersøgelser, der er foretaget af inspektør, civilingeniør *S. Sonne Kofoed* og amanuensis, landbrugskand. *T. Tougaard Pedersen* med henblik på vandindholdsbestemmelse i korn.

3) Tørring med infrarød lampe.

De to allerede nævnte metoder beroede på en fordampning af kornets vandindhold ved at omgive kornet med atm. luft med en temperatur, der lå over vandets kogepunkt, 103°C ., 120°C . og 130°C . En væsentlig hurtigere opvarmning kan fås ved at benytte en såkaldt varmelampe til udtørringen. Varmeoverførslen sker her ved stråling, idet lampernes infrarøde stråler (mørke varmestråler) først omdannes til varme, når de bliver absorberet af kornprøven. Tørringen kan da gennemføres på 15—20 min. Dette svarer ret nøje til de tørretider, der benyttes i Carter-Simons ovn, der arbejder ved 155°C . i 15 min. Formentlig er temperaturen i kornprøven af omtrent denne størrelse, idet temperaturen mod tørringens

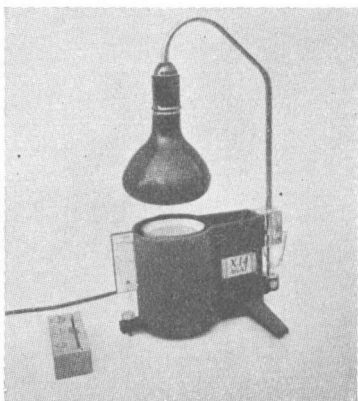


Fig. 10: Tørring med infrarød lampe (»X-14 Agat«).

X-14 AGAT

Infra-Lampe 150 W

Vandindhold X-14 Agat +
Vandindhold. 5 t v. 103°C.

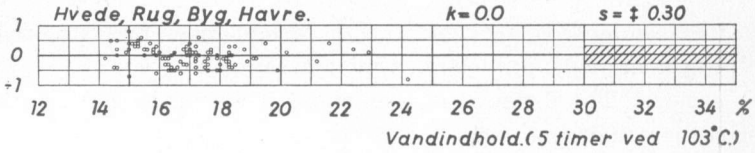


Fig. 11.

X-14 AGAT

Vandindhold X-14 Agat +
Vandindhold (5 timer v. 103°C.)

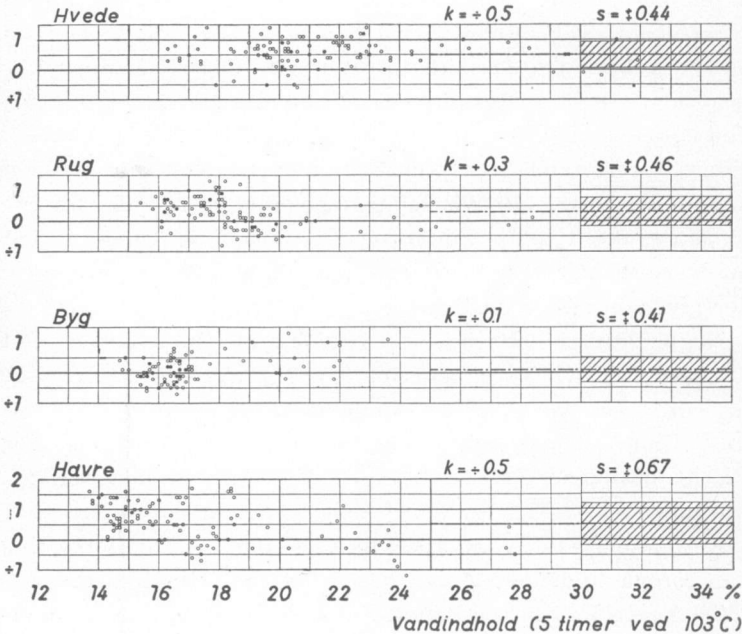


Fig. 12.

afslutning er stigende, da der så ikke mere bortføres varme gennem det fordampede vand. Det er derfor særlig betydningsfuldt her at benytte konstant tørretid, hvis reproducerbare værdier skal opnås.

Ved arbejdet efter denne metode blev apparatet »X-14 Agat« benyttet, fab. AB G. L. Jacoby, Stockholm. Apparatet er vist på fig. 10. Det består af en vægt med prøveskål og aflæsningsskala (0—30 pct.). Vægten er indbygget i en lukket vægtramme, hvortil standeren til varmelampen er fastgjort på en sådan måde, at afstanden mellem lampen og vejeskålen kan varieres. Til vægten hører lodder for justering, og indstillings-skruer findes på vægtramme og vægtbjælke.

I 1951 blev den originale lampe på 150 W benyttet, i 1952 anvendtes en 250 W lampe, fab. Luma. Afstanden fra lampens underside til vægtrammen var henholdsvis 35 mm og 50 mm. Prøven blev tilberedt på sædvanlig måde ved grov formaling på en kaffemølle. 10 g afvejes på vægten, hvorefter lampen svinges ind over prøveskålen og tændes. Ved 150 W lampen blev der benyttet 20 min. tørretid, ved 250 W lampen var tørretiden 18 min. Resultaterne er givet i fig. 11 og fig. 12. Tørretiden kan sættes ned til ca. 15 min. for 250 W lampen, hvorved resultaterne omtrent kommer til at falde sammen med de værdier, 150 W's lampen giver efter 20 min. Spredningen er dog tydeligt mindre ved den originale lampe, så det må frarådes at presse tørretiden ned ved at anvende en lampe, der giver en større udstråling.

Nogle udtørringsforsøg med hele kærner blev udført. Det viser sig, at hvis man benytter 2 à 3 gange den sædvanlige tørretid, kan man opnå de samme resultater som ved formaling. Under denne langvarige tørring bliver kærnerne dog stærkt brankede og resultaterne så usikre, at metoden må frarådes.

Bestemmelse af vandprocenter 30—100 pct. og fortørring kan foregå fuldstændig som beskrevet for »Humitherm«.

Til kontrol af korrektionerne k blev afvigelsesernes middelværdi m bestemt. Den fandtes at være:

150 W lampe (116 prøver af hvede, rug, byg, havre)	$m = \div 0,04$
250 W lampe (123 prøver af hvede)	$m = + 0,52$
do. (111 prøver af rug)	$m = + 0,26$
do. (109 prøver af byg)	$m = + 0,13$
do. (120 prøver af havre)	$m = + 0,53$

4) Destillation i olie af hele kærner.

I stedet for ved vejning at beregne den fordampede vandmængde foretager man ved denne metode en fortætning og direkte måling af vandmængden. Fordelen ved denne fremgangsmåde er, at man kan benytte høje temperaturer, fordi kornprøven er omgivet af en olie med et højt kogepunkt (f. eks. har cymol et kogepunkt på ca. 180°C.), og denne olie forhindrer den iltning af kornet, som normalt vil finde sted ved så høje temperaturer. Den høje temperatur tillader endvidere anvendelse af hele kærner, hvad der, specielt over for tørringsgrænsen, er en stor fordel. Til gengæld er det vigtigt, at apparatet har en ganske speciel udformning, og i alle tilfælde bereder en fuldstændig opsamling af det fortættede vand altid visse vanskeligheder, da små dråber bliver hængende i rørbojninger, på måleglassets vægge o.s.v.

Bedst kendt er det apparat, der blev udviklet af amerikanerne *Brown* og *Duvel*. Apparatet er gennem en lang årrække blevet anvendt i den amerikanske kornhandel. Oplysninger om dette apparats udførelse er givet i litteraturfortegnelse

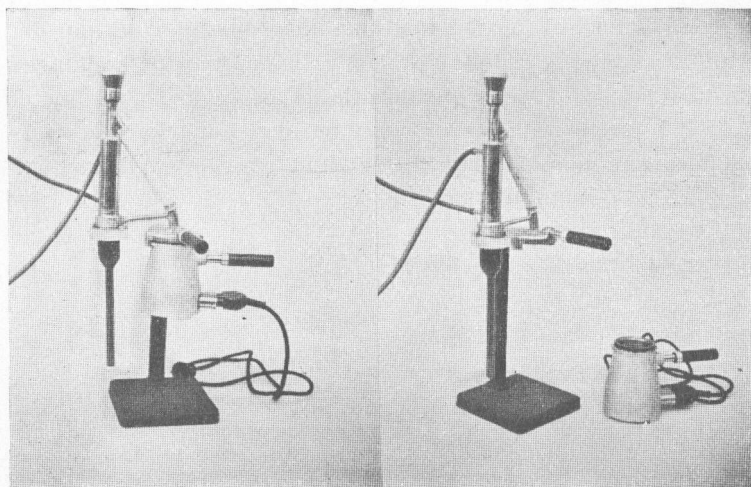


Fig. 13: Destillationsapparatet »Ingols«. Til venstre er apparatet vist samlet, til højre er kokekarret skruet af.

nr. 2, og i nr. 7 er givet sammenhængen mellem denne metode og vacuumtørremetoden.

Ved de sammenlignende forsøg benyttedes apparatet »Ingols«, fab. Colléns Mekaniska Verkstad, Stockholm. Som det fremgår af fig. 13 består apparatet af et kogekar (ca. $\frac{1}{3}$ l), der opvarmes af et elektrisk varmelegeme, anbragt i karrets bund (175 W). Kogekarret er forsynet med et skruelåg, der igen er fastgjort til apparatets stativ. Vanddampene ledes fra kogekarret gennem et skråtstillet isoleret rør til et lodret rør, der er omgivet af en kølekappe, hvorigennem der ledes rindende vand. Det fortættede vand opsamles i et måleglas, der er fæstnet til kølekappen med en omløbermøtrik. Tætning opnås med en gummipakning. Fortætningsrøret er forsynet med en påskruet tragt med et tyndt rør, der benyttes til afstødning af evt. vanddråber i fortætningsrøret.

Fremgangsmåden er iøvrigt følgende: 40 g hele kærner afvejes på en almindelig pulvervægt (følsomhed 0,1 g). Prøven fyldes i kogekarret. Gennem tragten hældes nu cymol ned i måleglasset, indtil cymolen netop begynder at dryppe ud af det omtrent vandrette rør, der findes mellem kølezonens nederste del og kogekarrets låg. Kærnerne fyldes i kogekarret, der sættes fast til låget. Efter kogning i 40—50 min. kan der ikke konstateres yderligere afgang af vand, hvorfor kogningen da afbrydes, og vandmængden aflæses på måleglasset, der er inddelt i $\frac{1}{10}$ cm³. Cymolen fortrænges over i kogekarret, efterhånden som vandet fortættes. Ved at gange de aflæste cm³ med 2,5, fås vandindholdet i procent.

INGOLS

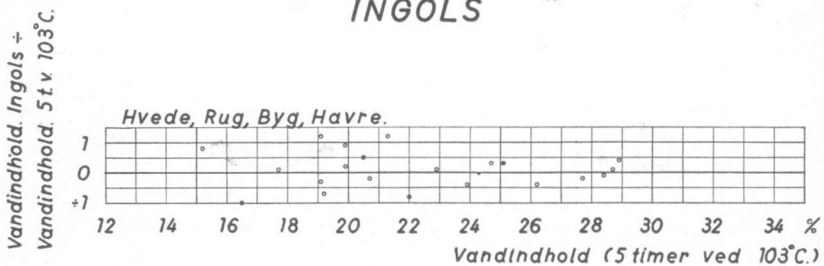


Fig. 14.

På fig. 14 er vist resultaterne fra 22 prøver af de 4 kornarter. Det meget lille antal prøver skyldes, at det med apparatet følgende cymol blev opbrugt, og ny cymol kunne først fremskaffes efter høstsæsonens afslutning. De opnåede resultater viser dog en god overensstemmelse med varmeskabsmetoden 5 timer ved 103 ° C., især ved høje vandprocenter. På grund af det relativt lille antal prøver er korrektion k og spredning s ikke beregnet her. En detaljeret omtale af apparatet er givet i Statens maskinprøvninger, meddelande nr. 954¹⁷⁾.

Indirekte målemetoder.

Fælles for de før omtalte metoder er, at de først efter et tidsrum varierende fra 15 min. til 5 timer giver oplysning om vandindholdets størrelse. Ofte vil det i praksis være af stor betydning at få umiddelbar oplysning om vandindholdet; det vil også have den store fordel, at der da i et bestemt tidsrum kan laves mange bestemmelser; betydningen heraf er ligetil, når man betænker, hvilke vanskeligheder der er forbundet med at udtage en repræsentativ prøve på nogle få gram af en kornmængde på flere tons. Ved disse hurtigmetoder benytter man sig af en af de ændringer i kornmassens fysiske natur, som et varierende vandindhold medfører. Mest anvendes de variationer i kornets *elektriske ledningsevne* og *dielektricitetskonstant*, der opstår ved svingende vandindhold. Ledningsevnen for korn med 15 pct. vand er således ca. 50 gange større end for korn, der kun indeholder 13 pct. vand. Dielektricitetskonstanten for kornets tørstof er af størrelsesordenen 2—5, medens den for vand er 80.

5) *Marconi Moisture Meter Type TF 933 A*, (fab. Marconi Instruments Ltds., St. Albans, England) benytter en ledningsevne-måling. Apparatet er vist på fig. 15. Det består af to dele, en skruetvinge med prøvecelle og selve apparatet, der indeholder det nødvendige elektriske udstyr. Dette omfatter en dobbelt Wheatstones bro, to tørrelementer på 1,5 og 45 volt, skalaer for aflæsning af broindstilling samt en kalibrerings-



Fig. 15: Elektrisk målemetode I (Marconi). Til højre ses prøvecelle og skruetvinge.

skala, der omsætter apparatets modstandsmåling direkte til vandprocent for de 4 kornarter. Temperaturkorrektionen (ca. \div 0,1 pct. pr. $^{\circ}$ C.) foregår ved forskydning af kalibreringsskalaen.

Kornprøven males på sædvanlig måde i en kaffemølle, og maleproduktet fyldes i målecellen, hvorefter det komprimeres med skruetvingen. Stemplet i denne er fjederbelastet, hvorved man kan sikre sig en konstant sammenpresning (ca. 30 kg pr. cm^2). Ledningsevнемålingen foregår mellem to koncentriske ringe af rustfri stål i prøvecellens bund. Mellem de to ringe findes et isolerende lag af bakelit. Målingen bliver dermed uafhængig af maleproduktets lagtykkelse, blot denne er større end isolationslaget mellem de to ringe, hvilket svarer til, at prøvecellen skal fyldes halvt op.

Med prøvecellen koblet fra justeres apparatet først ind for små variationer i batteriernes spænding, hvorefter prøvens ledningsevne måles. Aflæsningen omsættes ved hjælp af kalibreringsskalaen til vandprocent.

For at opnå pålidelige resultater bør der foretages 2—5 prøver, flest ved ret høje vandprocenter; de følgende resultater fremkommer som gennemsnitsværdier for 2—5 bestemmelser. Det er af stor vigtighed, at prøvecellen efter hver måling renses omhyggeligt, herunder at elektroderne aftørres med en tør klud.

De opnåede resultater er gengivet på fig. 16. De fundne korrektioner på ca. \div 1,0 pct. for hvede, rug og byg passer nøje

MARCONI
TF 933A

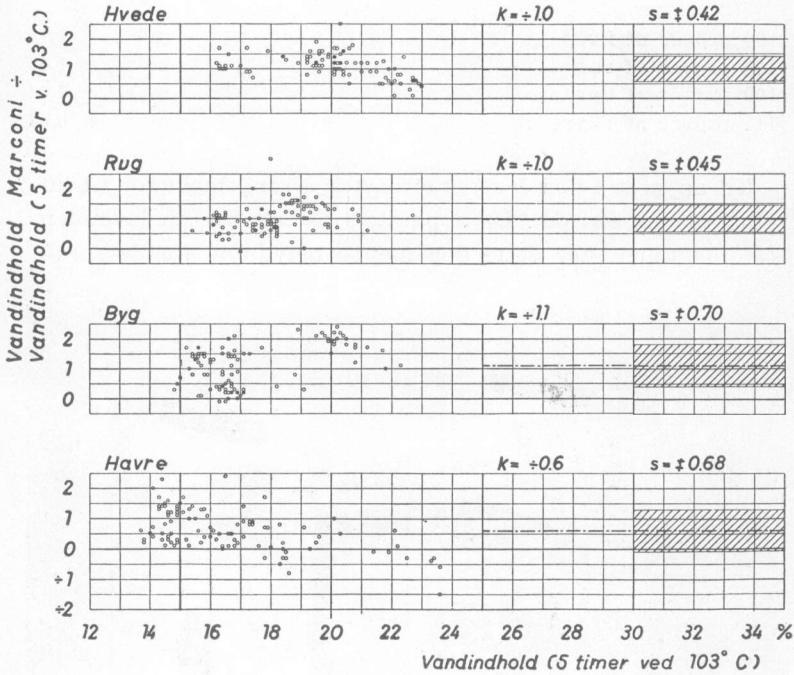


Fig. 16.

med, at apparatet er justeret efter 4 timer ved 120° C., og det er tidligere angivet, at denne metode giver ca. 1,0 pct. mere end 5 timer ved 103° C. For havre er for alle prøver fundet korrektion ÷ 0,6 pct., men nøjes man med de prøver, der falder i det vigtige område 14—18 pct., bliver korrektionen større.

Der blev også foretaget målinger på umalede kærner. For rug opnåedes lige så gode resultater som ved formaling, men korrektionen var her ca. + 0,8 pct., apparatet gav altså værdier, der lå gennemsnitlig 0,8 pct. lavere end de, der opnås ved 5 timer ved 103° C. Ved de andre kornarter, specielt byg og havre, var spredningen større end ved formaling, og metoden kan derfor kun anvendes til en grov orientering.

Ved de malede prøver blev som kontrol på korrektionen k afvigelsernes middelværdi m bestemt. Den fandtes at være:

90 prøver af hvede	$m = + 1,12$
104 prøver af rug	$m = + 1,00$
109 prøver af byg	$m = + 1,14$
111 prøver af havre	$m = + 0,63$

Til apparatet kan leveres et ekstra arrangement for tilslutning til vekselstrøm. Da apparatets batteri har en levetid på ca. 150 timer, har dette dog næppe betydning for det prak-



Fig. 17: Elektrisk målemetode II (*Super-Beha*).

tiske landbrug, hvor det netop er en stor fordel, at apparatet kan tages med i marken og give måleresultater på stedet.

6) *Super-Beha*, (fab. Erling Foss, Hillerød) benytter en dielektricitetsmåling. Apparatet er vist på fig. 17. Foroven findes en tragt, hvorfra den afvejede kornmængde (hele kærner) gennem et indstilleligt spjæld styrtes ned i målekondensatoren. I stedet for et ampèremeter indeholder apparatet et telefonrelæ og en særlig telefondrejeskive. Under skivens tilbageløb læses denne i en bestemt stilling, der varierer med vandprocenten. Skiven er på fælles aksel med en cylindrisk skala, der indeholder kalibreringsskala for de fire kornarter og tre oliefrøarter*). Aflæsningen sker gennem en lup. Til

SUPER-BEHA

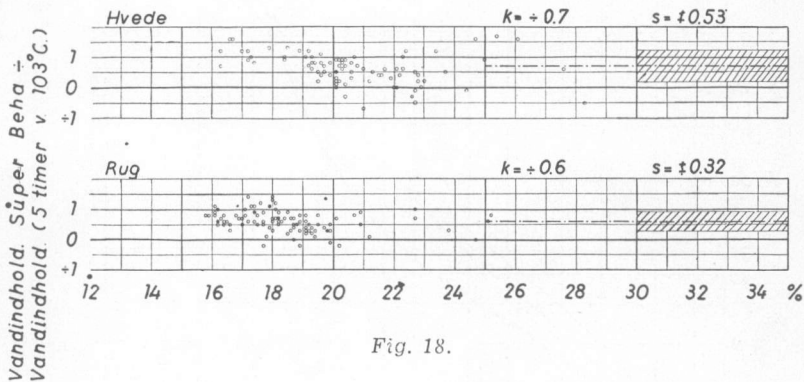


Fig. 18.

justering af apparatet bruges en afvejet mængde glaskugler, der, hvis apparatet er rigtigt justeret, skal give en bestemt skalaindstilling, markeret ved en rød streg.

Apparatet tilsluttes 110 eller 220 volt jævn- eller vekselstrøm til stationært brug, men kan også som ekstraudstyr forsynes med vibratoromformer, der tillader tilslutning til 6 eller 12 volts batteri i bil eller traktor.

*) Ved at dreje tromlen 180° får man skalaen for forskellige andre frøarter.

Hvede



Fig. 19.

Resultaterne er vist på fig. 18. De enkelte resultater er gennemsnitstal for mindst 2 målinger på samme prøve. Apparatet er justeret efter metoden 1 time ved 130 ° C. I overens-

Rug

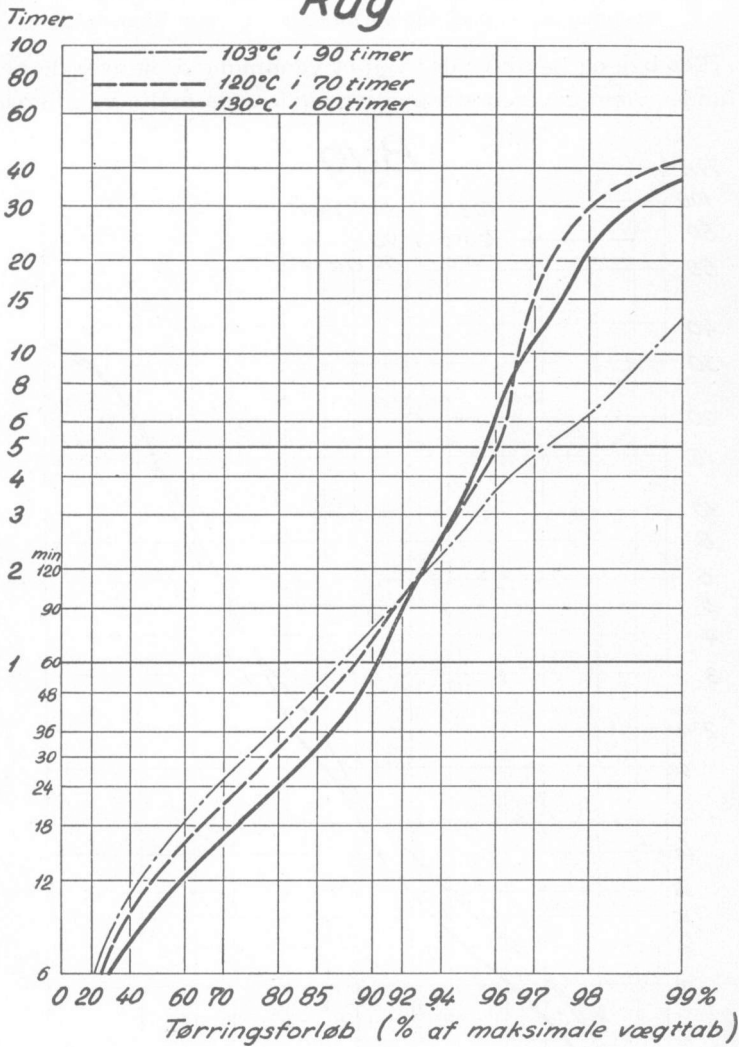


Fig. 20.

stemmelse hermed er der ved hvede og rug fundet en korrektion på henholdsvis $\div 0,7$ og $\div 0,6$, idet der, som tidligere anført, er fundet følgende relation mellem 1 time ved 130°C . og 5 timer ved 103°C .:

Vandindhold 1 time ved 130 ° C. = 5 timer ved 103 ° C. + 0,65
(gennemsnitsværdi for varmeskab og »Humitherm«).

For byg og havre er der ved et vandindhold på over 20 pct.
fundet visse uoverensstemmelser mellem de målte værdier og

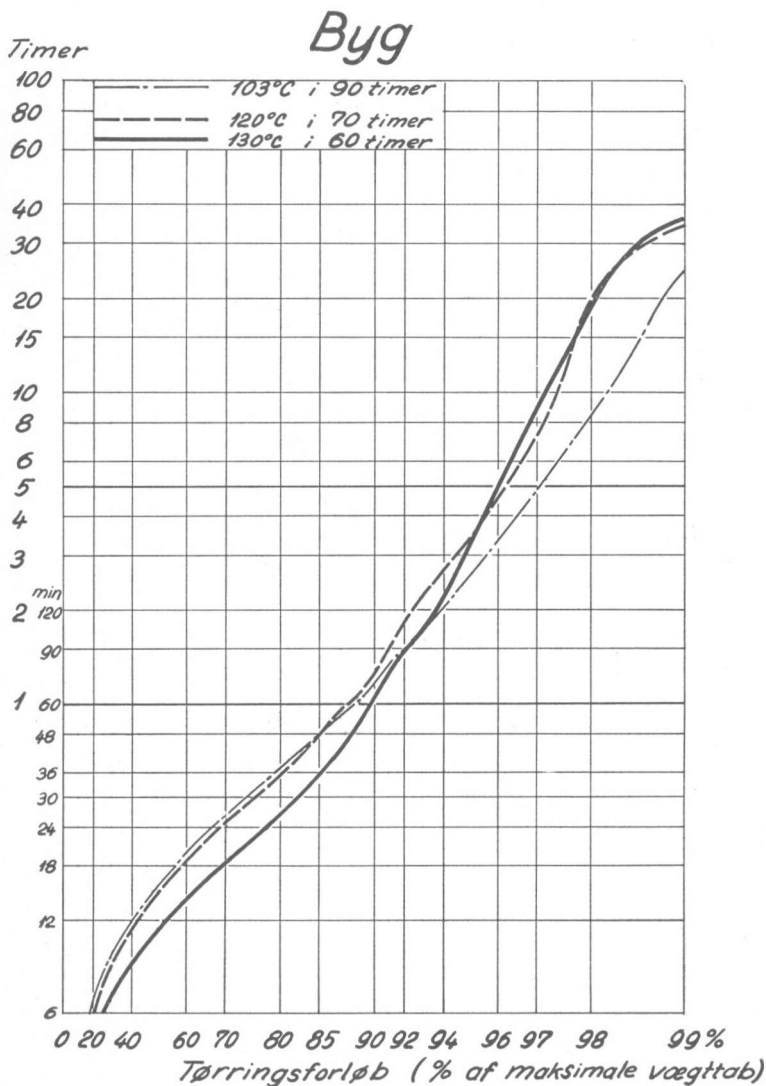


Fig. 21.

fabrikantens kalibrering. Med disse kornarter vil der ifølge meddelelse fra firmaet blive foretaget mere omfattende målinger med prøver fra den kommende høstsæson, og de allerede opnåede resultater vil derfor ikke blive omtalt her.

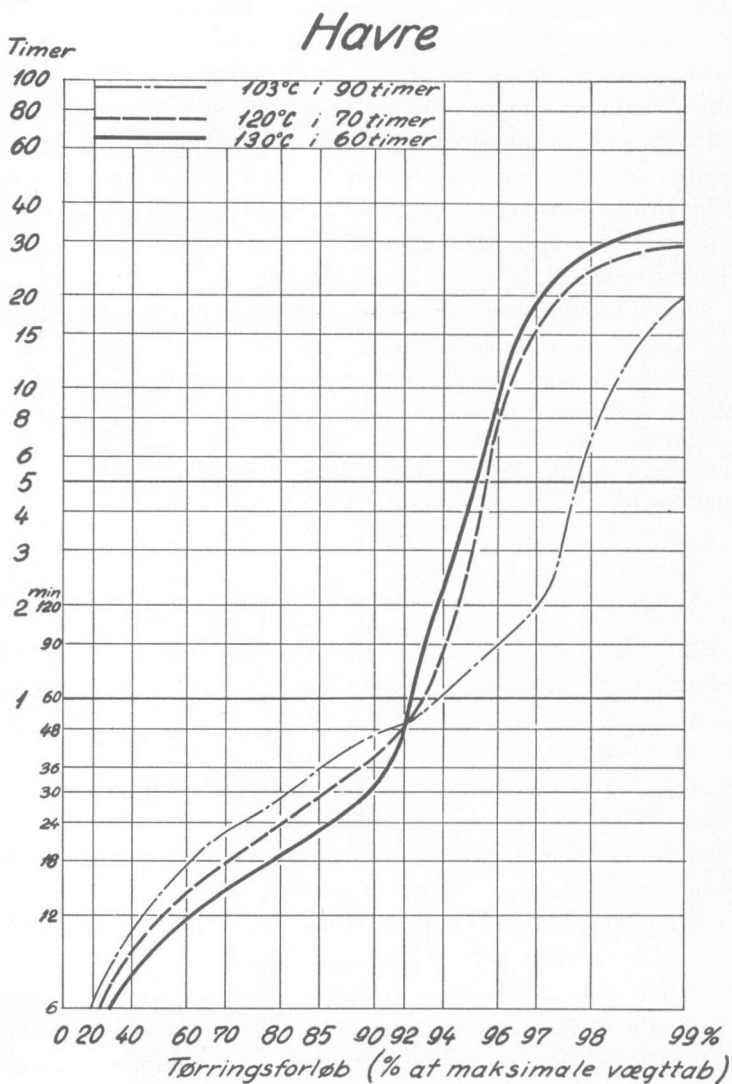


Fig. 22.

Temperaturkorrektionen er også her af stor betydning, hvorfor temperaturen for de enkelte prøver må bestemmes, hvis ikke kornet har været opbevaret så længe i et prøvelokale med konstant temperatur, at der ikke forekommer væsentlige temperatursvingninger. Kalibreringen er sket ved 20°C ., og temperaturkorrektionen er ligesom for Marconiapparatet $+ 0,1$ og $\div 0,1$ pct. for hver $^{\circ}\text{C}$., temperaturen er henholdsvis under og over 20°C .; hvis apparatet derfor benyttes på korn med en temperatur på 16°C ., skal der til de fundne resultater adderes 0,4 pct. for at få det virkelige vandindhold. Temperaturkorrektionen ved de forskellige temperaturer er anført på et skema på apparatet, hvor der tillige findes en betjeningsforskrift.

Til apparatet hører en vægt for afvejning af de 170 g korn, der kræves til hver måling.

Som kontrol på korrektionerne k blev afvigelsernes middelværdi m bestemt; den fandtes at være:

Hvede, 78 prøver	$m = + 0,69$
Rug, 99 prøver	$m = + 0,60$

* * *

Sluttelig skal nævnes nogle metoder, der ikke er taget med i denne undersøgelse:

1) *Kemiske metoder.*

a) *Titring.* Denne metode går ud på at opløse kornets vand i tør alkohol (i reglen metylalkohol), og derefter bestemmes vandindholdet i denne alkohol ved titring. Metoden er omtalt i litteraturfortegnelse nr. 4.

b) *Acetylenudvikling.* Efter denne metode blandes det fintmalede korn med pulveriseret calciumcarbid, hvorefter den udviklede acetylenmængde benyttes som et mål for kornets vandindhold, idet acetylenmængden f. eks. kan måles ved det tryk, der opstår i en lukket cylinder, der indeholder den afvejede mængde af korn og calciumcarbid.

2) *Måling af den relative fugtighed i luften mellem kornkærnerne.*

Denne metode grunder sig på det forhold, at der findes et veldefineret forhold mellem kornets vandindhold og luftens relative fugtighed. Dette gælder dog kun, forsåvidt kornets vandindhold ikke overstiger 18 pct. Endvidere er det en forudsætning, at korn og luft har været så længe i berøring, at fugtigheds- og temperaturligevægt er indtrådt. Ved at måle luftens relative fugtighed kan man så bestemme kornets vandindhold.

Bortset fra titreringsmetoden kan de her nævnte metoder næppe komme op på samme sikkerhed, som fås ved de fleste af de i forsøgene omtalte metoder.

Litteraturliste.

- 1) Beretning fra den 4. internationale frøkontrolkongres i Cambridge 1924. *London 1925.*
- 2) *Coleman og Boerner: The Brown-Duvel moisture tester and how to operate it.*
U.S. Department of Agriculture, bulletin no. 1375. *Washington 1926 (rev. 1936).*
- 3) Beretning fra den 5. internationale frøkontrolkongres i Rom 1928. *Rom 1929.*
- 4) *Dolch og Büche: Kritische Bemerkungen zur Wasserbestimmung durch Trocknung.*
Wissenschaftliches Archiv für Landwirtschaft, A 4. *Berlin 1930.*
- 5) *Coleman: Moisture determination in wheat with special reference to quick methods.* *Cereal Chemistry* 8, p. 315-335. 1931.
- 6) *Davies: The rapid determination of moisture in seeds and other granular substances.*
The Proceedings of Physical Society, 44-3, p. 231-245. *London 1932.*
- 7) *Cook, Hopkins og Geddes: Rapid determination of moisture in grain.*
Canadian Journal of Research. 11-3 og 11-4. *Ottawa 1934.*
- 8) *Berglund: Vandbestemmelser i kornsorter.*
Den danske Møller, 9. årg. no. 1,3 og 2,2. *København 1936.*
- 9) *Loft: Forskellige vandbestemmelsesmetoder (herunder Beha-apparatet — gammel model).*
Den danske Møller, 10. årg. no. 6,6 og 7,6. *København 1937.*
- 10) *Kent-Jones og Amos: Modern Cereal Chemistry.* *Liverpool 1947.*

- 11) *American Association of Cereal Chemists:*
Cereal laboratory methods. 1947.
 - 12) *Leendertz:* The Determination of Moisture in Seeds.
Proceedings of the International Seed Testing Association,
vol. 14, no. 1. 1948.
 - 13) Statens maskinprovningar, meddelande nr. 868: Särskild provning av fuktighetsmätare för spannmål. (Marconi — gammal model). *Uppsala* 1948.
 - 14) Statsfrøkontrollens analyseregler. *København* 1948.
 - 15) *Trolle:* Moisture Determination in Barley and Malt.
Journal of the Institute of Brewing, nov.—dec. 1949.
 - 16) *Berg:* Bestämning av vattenhalt hos spannmål och frö.
Lantmannen, 34. årg., nr. 28. 1950.
 - 17) Statens maskinprovningar, meddelande no. 954: Provning av apparat för vattenhaltsbestämning. (Ingols). *Uppsala* 1950.
 - 18) *Brochelsby:* An Instrument for estimating the moisture content of grain and other materials by measurement of electrical conductance. (Marconi — ny model). *Cereal Chemistry*, vol. 28, no. 2, mars 1951.
 - 19) Statens maskinprovningar, meddelande no. 984: Provning av apparat för vattenhaltbestämning. (X-14 Agat, infralampe). *Uppsala* 1951.
 - 20) Statens maskinprovningar, meddelande no. 994: Provning av apparat för vattenhaltbestämning. (Norstedt, infralampe). *Uppsala* 1951.
 - 21) Statens maskinprovningar, meddelande no. 1056: Provning av fuktighetsmätare. (Hygroma, varmeskab med indbygget vægt). *Uppsala* 1952.
 - 22) *Agriculture handbook* no. 30:
Testing Agricultural and Vegetable Seeds. *Washington* 1952.
-