

MEDDELELSER FRA VEIDIREKTØREN

NR. 8

Undersøkelser av masseutskiftningsmaterialer for vei- og jernbanebygging. — Brenselforsyningen til generatorbilene i Sverige. — Fremstilling av generatorknott. — Veilengder i Norge (i km) pr. 30. juni 1941. — Personalia.

August 1941

UNDERSØKELSER AV MASSEUTSKIFTNINGSMATERIALER FOR VEI- OG JERNBANEBYGNING

Annen del: FORSØK I FRILUFT

(Meddelelse fra Norges Tekniske Høgskoles Varmekraftlaboratorium.)

Av A. Watzinger, E. Kindem og B. Michelsen.

Innholdsfortegnelse.

| | Side |
|---|------|
| I. Plan over forsøk og måleinnretninger. | |
| A. Forsøksfelt | 101 |
| B. Måleinnretninger | |
| 1. Temperaturmålinger i materialene | 102 |
| a) Målinger med termoelementer | 102 |
| b) Målinger med kvikksølvtermometer | 103 |
| 2. Måling av lufttemperaturen | 105 |
| 3. Måling av materialenes vanninnhold | 105 |
| II. Observasjoner i forsøksfeltet. | |
| A. Temperaturmålinger | |
| 1. Målinger med termoelementer | 105 |
| 2. Målinger med jordtermometer ... | 109 |
| B. Målinger av vanninnholdet i tiden 1937 til 1941 | 109 |
| III. Sammenligning mellom målte teledybder og beregnede verdier. | |
| A. Teledybden beregnet etter den i første del oppstilte formel for frysemotstanden | |
| 1. Målinger i forsøksfeltet | 111 |
| 2. Målinger ved Nordlandsbanen ... | 114 |
| B. Innflytelsen av den fra grunnen oppstrømmende varme og av varmeutstrålingen til himmelrommet | 115 |
| 1. Fra grunnen oppstrømmende varme | 115 |
| 2. Jordens varmeutstråling | 117 |
| IV. Zusammenfassung (in deutscher Sprache). | 118 |
| V. Litteratur | 119 |

Arbeidets første del [1], som inneholder laboratorieforsøk ang. varmeledningsevnen av masseutskiftningsmaterialer, ble avsluttet med en teoretisk behandling av telehivingen. Der ble oppstilt enkle matematiske formler som tillot å beregne de undersøkte masseutskiftningsmaterialers spesifikke frysemotstand og kuldemagasinerende evne under bestemte forenkling antagelser.

For å få et innblikk i de i praksis opptredende forhold m. h. t. materialenes vanninnhold og frysemotstand og for å undersøke om den oppstilte formel

til beregning av teledybden ga riktige verdier, ble det vintrene 1937 til 1941 utført forsøk i friluft med målinger av temperatur og fuktighet i forskjellige i nærheten av Varmekraftlaboratoriet nedgravde masseutskiftningsmaterialer. Resultatet av disse målinger meddeles i det følgende.

I. Plan over forsøk og måleinnretninger.

A. FORSØKSFELT

Ved forsøkene gjaldt det i første rekke å måle hvor dypt telen gikk i de forskjellige masseutskiftningsmaterialer under forhold som var mest mulig ensartede for samtlige materialer.

Skulle forsøkene kunne gjennomføres uten at det gikk altfor meget tid, og med full utnyttelse av de hjelpemidler som stod til disposisjon i Varmekraftlaboratoriet, måtte forsøkene utføres like i nærheten av laboratoriet. Som sted ble derfor valgt et flatt, åpent gressbevokset jorde på østsiden av laboratoriet, fig. 46.¹ Flere av de masseutskiftningsmaterialer som tidligere var blitt undersøkt i laboratoriet samt et par nye materialer ble gravet ned i kvadratiske felter på 1×1 m² grunnflate med 1 m dybde.

Av forsøksfeltene ble 6 stykker samlet i en 1 m dyp treramme på 2×3 m². Trerammen var sammenspikret av 1" ployde bord og ved innvendige mellomvegger oppdelt i 6 seller (felter). For å hindre masseutskiftningsmaterialene i å oppta vann fra jorden omkring eller å utveksle vanninnholdet innbyrdes, ble alle sellene innvendig utført med asfalt-papp, både i bunnen og på siden. I bunnen (hvor det ikke var treverk) ble pappen lagt på et plant lag av den underliggende leire. For i noen grad å redusere innflytelsen av ut- eller innledning av varme gjennom rammens ytre vegger, ble mellomrommet mellom rammen og den ytre jordvegg igjenfylt med samme sort materiale som på hvert sted ble ifyllt innenfor rammen. Utenfor rammens kant ble før

¹ Figur- og tabellnummerering fortsettes fra tillegget til første del [1].

rammens oppstilling nedlagt et kultlag med avløp for grunnvannet. Etter at masseutskiftningsmaterialene var ifylt sellene, ble materialene øverst planert og derpå dekket med en jernplate.

Til sammenligning ble det gravet 6 andre felter av $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$, hvor masseutskiftningsmaterialer

Termoelementene, 10 stk. for hvert forsøksfelt, ble lagt ned med loddepunktene midt i forsøksfeltene og med innbyrdes 10 cm avstand i dybden. I den opprinnelige anordning ble hvert termoelement (en konstantan- og en kobbertråd) innlagt i et tynt messingrør med ca. 5 mm ytre diam., og hvis ende

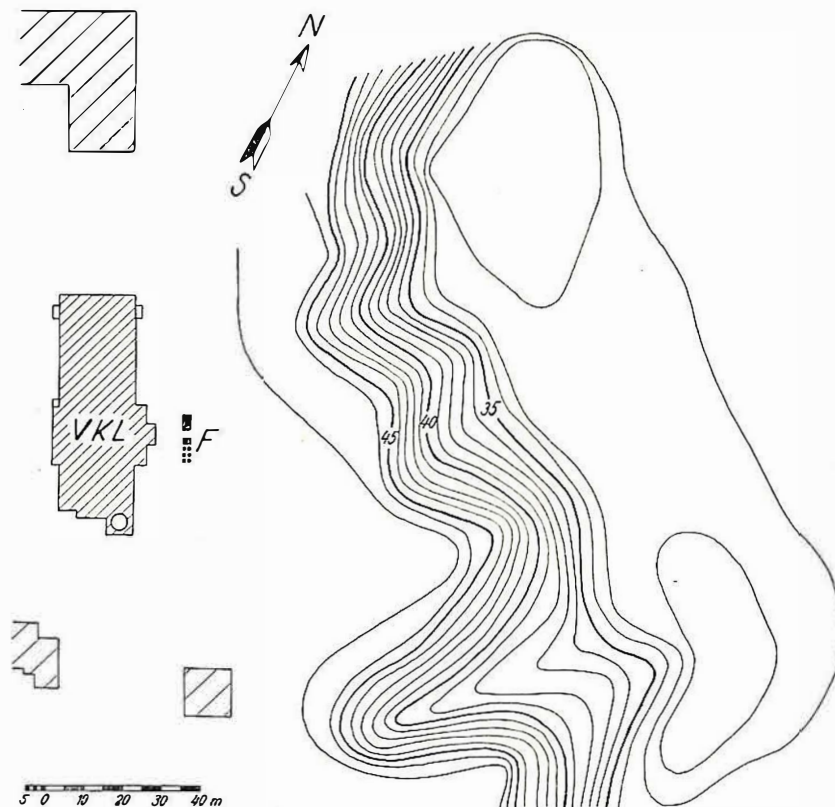


Fig. 46. Situasjonsplan av forsøksfelt (F) på østsiden av Varmekraftlaboratoriet (V. K. L.).

ble lagt ned uten beskyttelse hverken på undersiden, overflaten eller noen av sidene. Hensikten var å bringe på det rene i hvilken grad de forskjellige materialer ville absorbere vann og hvilken innflytelse dette ville ha på teledybden. Foruten disse felter ble senere anlagt et felt [på $2 \times 2 \text{ m}^2$, og 40 cm dypt, med henblikk på å kontrollere innflytelsen av feltets størrelse på temperaturfordelingen i feltet. Den endelige anordning av forsøksfeltene framgår av fig. 47.

B. MÅLEINNRETNINGER

1. Temperaturmålinger i materialene.

a) Målinger med termoelementer.

Til måling av temperaturen ble det anvendt termoelementer av kobber-konstantan. Avlesningen ble foretatt ved en kompensator med 5 dekadere etter Diesselhorst (utført hos R. Wolff, Berlin) og ved speilgalvanometer etter Deprez-D'Arsonval (Siemens & Halske) med kikkertavlesning.

like utenfor termoelementets loddepunkt var gjenloddet med tinn. Termoelementtrådene, som fra fabrikkens var dobbelt bomullsomsponnet, ble dessuten hver for seg omgitt med en lakkstrømpe. For ikke å få feil avlesning p. g. a. til- eller bortledning av varme gjennom messingrørene, ble hvert rør fra midten av forsøksfeltet ført vannrett bort til siden av feltet og derfra opp til overflaten. Her ble for hvert felt alle termoelementer samlet i et større messingrør og ført til en nedgravet og for samtlige felter felles koblingskasse. Kassen var sveiset av jernplate, galvanisert og forsynt med vanntett pakning for rørens gjennomføring og for lokket. I kassen ble termoelementenes konstantantråder koblet sammen i 5 grupper. Fra hver gruppe ble en konstantantråd, i alt 5, i et felles messingrør ført inn til avlesningsrommet inne i laboratoriet. Samtlige kobbertråder ble ført inn til rommet, idet de i koblingskassen ble koblet til en telefon-blykabel med mange ledere. Koblingskassen ble etter at alt

koblingsarbeid var ferdig, gjenstøpt med isolasjonsmasse.

Forsøksinnretningen var ferdig julen 1936, og målingene begynte den 15. jan. 1937. Under målingene viste det seg ganske snart at man tross alle forholdsregler begynte å få overledning på termoelementene. Ut på vårparten 1937 måtte derfor

De øvrige felter som var gravet ned året i forveien, ble liggende urørt, da hensikten var her fra tid til annen å følge temperaturen ved observasjoner med kvikksølvtermometer.

Av grunnrisset for forsøksfeltet, fig. 47, framgår hvilke masseutskiftningsmaterialer som var lagt ned og hvordan de for tiden ligger i forhold til hverandre.

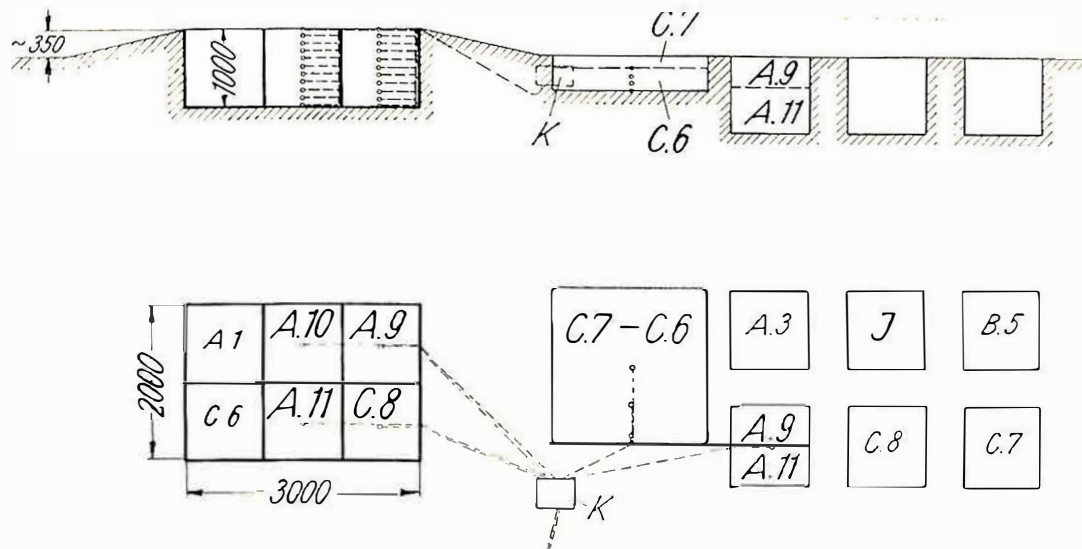


Fig. 47. Inndeling av forsøksfeltet med oppgave over nedlagte materialer.
 Målt med termoelementer: I isolert treramme: A 10 Stjørdalsgrus, A 11 Verdalsgrus, A 9 kvabbjord, C 8 torvstrø. I åpent felt: A 9 kvabbjord (40 cm) over A 11 Verdalsgrus (60 cm). C 7 trekull (15 cm) over C 6 myrmaterialer (25 cm). Øvrige felter: I isolert treramme: A 1 sand, C 6 myrmaterialer. I åpent felt: A 3 leire, J matjord, B 5 kullstubb, C 7 trekull, C 8 torvstrø.

målingene avbrytes. Messingrørene som termoelementene var innlagt i, var da blitt så sprø at de brakk tvers av bare man kom bort i dem. De temperaturmålinger som ble foretatt vinteren 1936—37 kunne således ikke ansees som pålitelige, og det ble besluttet å legge inn nye termoelementer beskyttet med bly.

For å bli ferdig med forsøksinnretningen på rimelig tid og for å begrense arbeidet med avlesningene, ble dog nye termoelementer bare innlagt i 6 forsøksfelter. Fem av de tidligere felter ble gravet opp og ifyllt på nytt, delvis med nye materialer, derav fire i treramme [Stjørdalsgrus (A 10), Verdalsgrus (A 11), Kvabbjord (A 9) og torvstrø (C 8)] og et i de åpne felter [40 cm kvabbjord (A 9) over 60 cm Verdalsgrus (A 11)], se fig. 47. Dessuten ble det anlagt det tidligere nevnte større felt med 25 cm vått myrmaterialer (C 6) i bunnen og 15 cm tørr trekull (C 7) øverst.

Som nytt termoelementmateriale ble det bestilt en spesiell blykabel med innlagt en kobber- og en konstantantråd. I enden på kabelen ble trådene sammenloddet og over loddepunktet ble det trukket en lakkstrømpe. Utenpå det hele ble satt en hette av bly som ble loddet sammen med mantelen på blykabelen. Alle disse kabler ble ført helt fram til den opprinnelige koblingskasse og samlet her.

Den nye forsøksinnretning ble ferdig i midten av desember 1937 og målingene begynte den 17. jan. 1938. Vinteren 1937—38 ble imidlertid meget varm. Det forekom ikke en virkelig kuldeperiode etter 15. des. og middeltemperaturen var således over 0° C både i januar og februar måned. Målingene ble derfor fortsatt vinteren 1938—39 og, for en del av materialene, også i 1939—40 og 1940—41. Termoelementenes anordning i blykabel viste seg å motstå fuktigheten godt, slik at målingene kunne fortsettes uten noen forandringer eller reparasjoner.

b) Målinger med kvikksølvtermometer.

I felter som ikke var utstyrt med nye termoelementer, se fig. 47, ble det foretatt temperaturmålinger med kvikksølv-jordtermometer. Hertil anvendtes to forskjellige spesialbygde typer, fig. 48 og 49.

Termometret, fig. 48, er handelsvare, bygd av R. Fuess, Berlin-Steglitz, og beregnet på innsetting i lerrør eller nikkelhylse. Temperaturen kan bare måles i bunnen av røret og termometret må trekkes opp hver gang temperaturen skal avleses. For å få målt temperaturen i forskjellige dybder, ble det satt ned et isolitrør i forsøksfeltet og kobberhylsen som omslutter termometrets kvikksølvkule ble skiftet ut med en som fylte ut isolitrøret og ga god berøring på sideveggene. Ved måling i forskjellige

dybder ble termometret nedentil skjøtt på med runde trestokker av forskjellig lengde, slik at isolitrøret var helt utfyllt.

Med dette termometer gir målingene bare brukbart resultat når termometret står fast montert i en

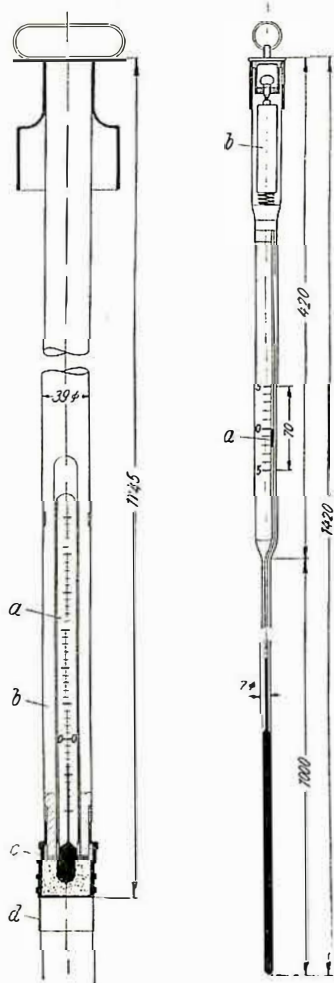


Fig. 48 (t. v.). Kvikksølvjordtermometer fra R. Fuess, Berlin-Steglitz.

Fig. 49. Kvikksølvjordtermometer etter E. Kindem, utført ved dr. Siebert & Kühn, Kassel.

bestemt dybde. Innstillingen tar lang tid, ca. 1½ time.

Da termometret således var lite egnet for de påtenkte målinger, ble det av lab.ing. Kindem bragt i forslag et nytt termometer, fig. 49, som ble utført hos Dr. Siebert und Kühn, Kassel.

For termometrets konstruksjon ble følgende synspunkter lagt til grunn: Det var ønskelig å ha et termometer som man kunne flytte fra punkt til punkt og hvor det ikke var nødvendig å vente særlig lenge mellom hver avlesning. For å oppnå dette var det nødvendig at termometret hadde så liten diameter som mulig, idet innstillingstiden ville bli avhengig av hvor meget masse det ble å varme opp

eller å kjøle. Det var enn videre absolutt nødvendig å kunne avlese termometret uten å trekke det opp av jorden. Da termometret måtte avleses med en nøyaktighet på $\frac{1}{10}^{\circ}\text{C}$, ville imidlertid trådkorreksjonen for et vanlig kvikksølvtermometer bli for stor hvis kvikksølv søylen skulle gå fra termometerkulen og helt opp over jordoverflaten, når måling av jordtemperaturen blir tatt ned til 1 meters dybde.

Det nye termometer ble derfor konstruert som et kontakttermometer med manøvrerbar kontakttråd inne i det 1 m lange kapillarrør. Avlesningen foregikk på den måte at kontakttråden, som øverst på vanlig måte var forsynt med et jernanker a, ble skjøvet opp eller ned ved hjelp av en magnet inntil man nøyaktig fant det punkt hvor kontakttrådens nedre ende berørte kvikksølvoverflaten i termometret. Dette punkt kunne oven til avleses på en temperaturskala. I termometrets øverste del var innbygd et elektrisk batteri b, og en lommelyktpære, sjaltet på en slik måte at pæren lyste når kontakttråden berørte eller stakk ned i kvikksølvoverflaten. Kvikksølvoverflaten i kapillarrøret lå bare så meget høyere enn termometrets kvikksølvkule at det var plass til dens bevegelse opp og ned innenfor måleområdet. Det ble utført 2 termometre med forskjellig lengde av kvikksølvbeholderen, nemlig 20,5 cm og 7,5 cm, skala henholdsvis 70 og 35 mm lang fra $\div 5$ til $+ 5^{\circ}\text{C}$, delt i $\frac{1}{10}^{\circ}\text{C}$.

Med henblikk på termometrets benyttelse ble det i vedkommende forsøksfelt satt ned et tynt isolitrør (utv. diam. ca. 20 mm, innv. diam. ca. 12 mm) tilpasset kontakttermometret. Røret som var lukket i bunnen, ble fylt helt opp med en blanding av glyserin og vann. For måling av temperaturen ble termometret først stukket et lite stykke ned i røret, hvorved den fortrenkte glyserin ble presset opp i en trakt som ble påsatt røret. Etter tilstrekkelig lang tid, ca. 10 min., ble temperaturen avlest. Deretter ble termometret stukket et stykke lenger ned og temperaturen igjen avlest etter samme tid, og slik ble det fortsatt helt til bunns i røret. På denne måte ble det så vidt mulig unngått å forstyrre temperaturen på hvert punkt i isolitrøret ved omblending av glyserinen omkring termometerkulen, hvilket ville ha nødvendiggjort betydelig lenger ventetid for hver avlesning. Under målingen var termometret opphengt i et spesielt flyttbart stativ, som tillot fiksering av termometrets suksessive nedstikking til en rekke bestemte dybder.

(Ved de leverte kontakttermometre var dessverre manøvreringen av kontakttrådene nokså vanskelig. Det var derfor nødvendig å benytte en elektromagnet istedenfor de medleverte permanente magneter. Det finnes imidlertid nå ved nyere kontakttermometre en helt annen konstruksjon for kontakttrådens manøvrering som tillater meget nøyaktig bevegelse av tråden. Utført med denne manøvreringsanordning må man anta at det konstruerte kontaktjordtermometer må bli forholdsvis enkelt å benytte under

hensyntagen til de vanskeligheter som består for konstruksjonen av et tilstrekkelig nøyaktig, transportabelt måleinstrument.)

Vil man måle jordtemperaturen på et punkt hvor jorden allerede er frosset, kan man, hvis jorden er fri for større stein, slå et hull rett ned i jorden med en 20 mm tykk jernstang og i hullet sette ned et isolitrør for termometret. Temperaturavlesningen kan da skje med stor nøyaktighet etter et par timers tid.

2. Måling av lufttemperaturen.

Til måling av lufttemperaturen ble det brukt en termograf. Termografen ble anbragt i et strålingsbeskyttet observasjonsskap av Meteorologisk Instituttets modell, oppstilt på et åpent jorde et par hundre meter fra forsøksfeltene.

3. Måling av materialenes vanninnhold.

Vanninnholdet i forsøksfeltene ble bestemt ved å ta opp materialprøver som ble innlagt i tørkeskap. Til opptagning av prøvene av det frosne materiale ble det laget et spesielt bor. Boret besto av et ca. 1,5 m langt 2" stålør som i bunnen var påsveisert et rørstykke av litt tykkere gods, men med samme innvendige diameter som stålørret. Utvendig var rørstykket svakt konisk og forsynt med grove gjennger. Enden av røret var slipt til i en skarp egg, hvis diameter var litt mindre enn rørets indre diameter. Prøveuttagningen med boret gikk ganske bra, men tok lang tid.

Det ble derfor senere gjort forsøk med et glatt 2" stålør som bare var rett avskåret og skarpslipt i enden. Røret ble drevet ned med slegge. Det viste seg at denne framgangsmåte gikk betydelig hurtigere, og da den kunne anvendes for de fleste materialer, ble boringen senere bare unntagelsesvis benyttet. Den materialsoyle man fikk opp, ble delt i to eller flere deler for å bestemme vanninnholdet i flere dybder.

Herved viste det seg den vanskelighet at materialet under uttaket ble mer eller mindre stuert sammen, slik at fordelingen av vanninnholdet over høyden ble usikker.

Ved de i 1941 utførte prøveuttak ble materialet tatt trinvis ut, i små søyler av som regel 20 cm høyde. Til dette formål ble det vel 1 m lange rør merket på hvert 10. cm og røret alltid bare drevet ned i en bestemt fiksert dybde ad gangen. Ved opptagningen ble det kontrollert at intet av materialet ble igjen i hullet. Det opptatte materiale ble lagt i hermetisk glass og senere tørket.

II. Observasjoner i forsøksfeltet.

A. TEMPERATURMÅLINGER

1. Målinger med termoelementer.

Resultatet av målingene vinteren 1938—39 er opptegnet i fig. 50 som funksjon av forsøks tiden. Observasjonene er foretatt ved ass.ing. Bjørn Michel-

sen på bestemte forsøksdager fra 6. septb. 1938 til 25. april 1939.

I det øvre diagram er den midlere lufttemperatur i døgnet bestemt ved planimetrering av termografkurvene for hvert døgn. I samme diagram er inntegnet *frostmengden* F i $h^{\circ}C$ samt roten av frostmengden. Frostmengden er definert som algebraisk sum av lufttemperaturen i kuldegrader ganger tiden i timer, og funnet ved integrasjon av lufttemperaturkurven over tiden, se avsnitt III, A, s. 111.

Enn videre er over særskilt null-linje opptegnet den totale snehøyde S i cm, etter observasjoner ved Trondheims meteorologiske stasjon, og varmeutstrålingen Q_N om natten i $kcal/m^2 h$, beregnet etter de meteorologiske observasjoner av skymengden (se nærmere avsnitt III, B, 2, s. 117).

De nedre kurver viser temperaturobservasjonene i de forskjellige undersøkte materialer.

Ved opptegning av alle temperaturkurver er tidsmålestokken valgt slik at det er brukt en mindreskala for tiden før frysingen (fra 6. septb. til 17. des. 1938 og fra 1. april til 25. april 1939), hvori det bare ble tatt noen få observasjoner, mens det er anvendt større målestokk for den tiden som omfatter selve frysingen og opptiningen av materialene. Med henblikk på den meget betydelige tid som observasjonene krevde, nøyet man seg med observasjoner en gang om uken, etter at noen forsøk med daglige avlesninger (jan. 1938) hadde vist at dette strakk til for å fastlegge temperaturkurvene med den for disse forsøk nødvendige nøyaktighet.

For hvert enkelt forsøksmateriale er for hver observasjonsdag opptegnet de observerte temperaturer som funksjon av dybden, temperaturer over 0° til høyre, under 0° til venstre. Temperaturforløpet er framhevet ved skraffur, som for det frosne materiale er noe tettere enn for ikke frosset materiale. Kurvene er inntegnet etter forsøkspunktene. Kurvene har knekkpunkter på de steder hvor varmelledningstallet plutselig forandrer seg. Dette er i sin alminnelighet mer eller mindre tilfelle ved overgangen mellom frosset og ikke frosset materiale og der hvor to forskjellige materialer berører hverandre.

For den egentlige fryseperiode er materialenes temperatur opptegnet i samme målestokk som lufttemperaturen, mens målestokken for materialtemperaturene i tiden før og etter frysingen er redusert til $\frac{1}{3}$ for å unngå at kurvene legger seg over hverandre (se temperaturmålestokken i fig. 50 ved C 8).

Ser man på disse skrafferte diagrammer, så viser det seg at materialtemperaturen før frysingen og likeså etter opptiningen er tilnærmet konstant over hele dybden, bortsett fra små temperatursvingninger i øverste skikt nærmest overflaten. Så snart frysingen setter inn, inntreer en karakteristisk forandring av temperaturkurvene, idet temperaturene i den frosne del av materialet fra en laveste verdi i overflaten øker hurtig mot null, mens temperaturen nedenfor det frosne skikt betydelig langsommere og

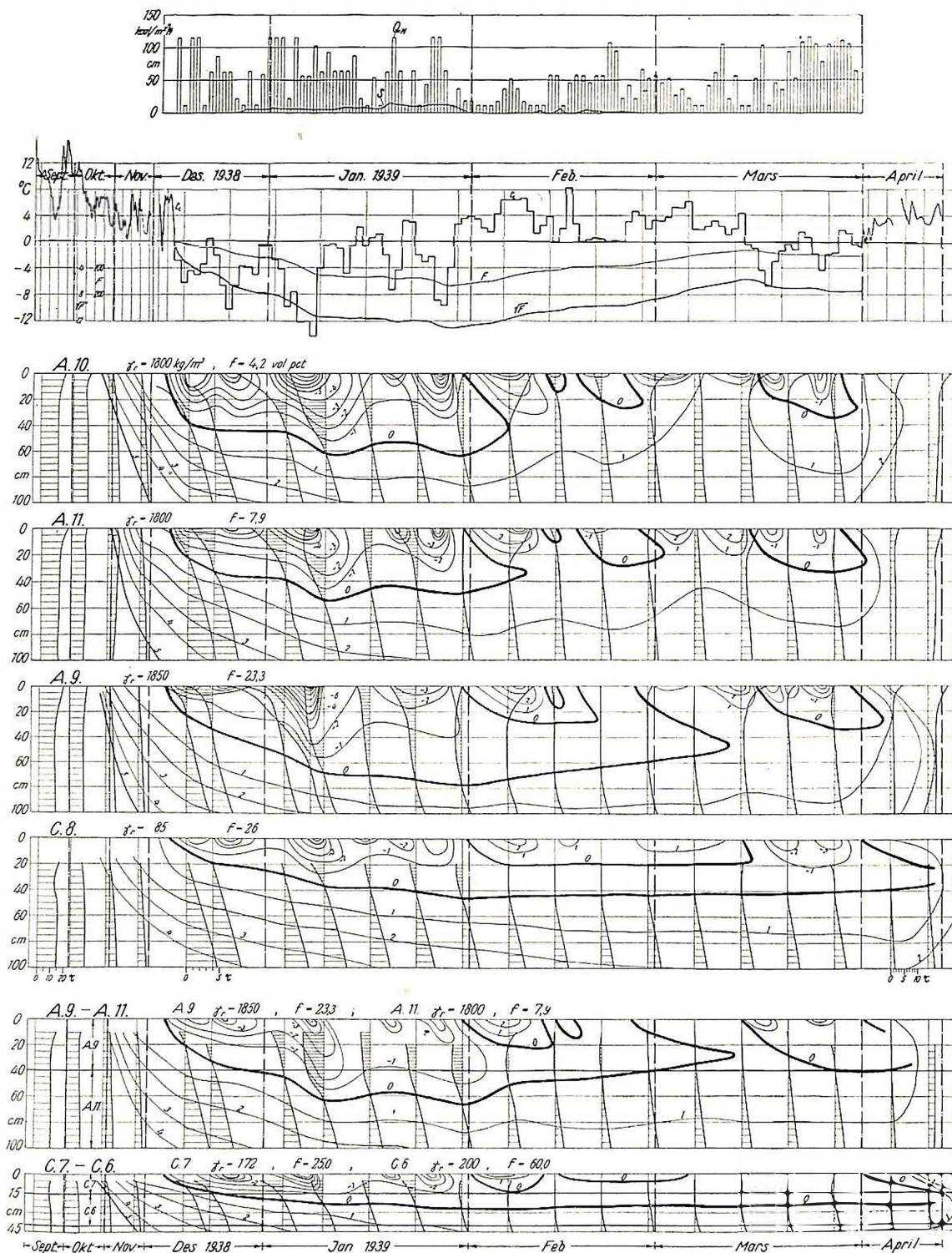


Fig. 50. Målinger vinteren 1938—39, avhengig av tiden.

Diagram nr. 1 (regnet ovenfra): Varmestralingen om natten Q_N og snehøyde S . Nr. 2: Lufttemperatur t_L , frostmengde F og \sqrt{F} . Nr. 3—8: Temperatur i de i forsøksfeltene nedgravde materialer avhengig av dybde (horisontalt skraffert), samt isotermer for temperaturer over og under 0°C . Isothermen for 0°C svarer til teledybden og er tegnet med tykkere linje.

A 10 Grus fra Stjørdal (slg. [1] fig. 2, 12, 19 og tab. 2).

A 11 Grus fra Verdal (ikke målt tidligere).

A 9 Kvabbjord (slg. [1] fig. 3, 20 og tab. 3).

C 8 Torvstrø (slg. [1] fig. 11, 28 og tab. 11).

A 9—A 11 Et lag (40 cm) kvabbjord over et lag (60 cm) Verdalsgrus.

C 7—C 6 15 cm trekull over 25 cm myrmaterialer (slg [1] fig. 10, 17, 27 og tab. 10. og

[1] fig. 9, 26 og tab. 9).

nesten lineært øker fra null-linjen til den nærmest uforandrede temperatur i de nederste material-skikter, henholdsvis det underliggende materiale. Temperaturgradienten, d. v. s. antall grader C pr. cm dybde gir et mål for den fra dybden mot telen oppadstigende varme. Som man ser er ved samtlige kurver gradienten størst i begynnelsen og avtar etter hvert, særlig etter at opptiningen begynner. For de forskjellige undersøkte materialer, som har meget forskjellige varmeledningstall i det ikke frosne materiale, er temperaturgradienten for den oppadstigende varme bare lite varierende.

Av temperaturkurvene avhengig av dybden er avledet kurver for konstant temperatur (isotermer), og disse er for hver grad over og under 0 °C inntegnet som funksjon av tid og dybde. Null-isotermer, som er framhevet med tykkere strek, angir teledybden til en hver tid. I forsøksintervallene mellom hver observasjon er det ved opptegning av kurvene søkt tatt omsyn til de midlere svingninger i lufttemperatur og frostmengde. Imidlertid er det her selvfølgelig mulighet for å legge kurvene på litt forskjellig måte, og det er helt ugjørlig av omsyn til arbeidet å få med over alt virkningen av alle influerende faktorer. Men de absolutte dybder og hovedforløpet må ansees for korrekt.

Mens isotermer lar seg legge inn noenlunde sikkert i de dypere lag, er dette ikke mulig for de øverste lags vedkommende, da dette på grunn av de stadige temperatursvingninger i luften ville kreve betydelig flere observasjoner. I materialets overflateskikt vil dessuten svingningene i luftens temperatur i døgnet bevirke tilsvarende temperatursvingninger i materialene. Disse svingninger framgår ikke av figuren og de er heller ikke av betydning for denne undersøkelse.

Null-isotermeren er det viktigste mål for undersøkelsen, da den angir grensen inntil hvilken telen trenger fram. Følger man forløpet av null-isotermene for de forskjellige materialer, så faller disse i bestemte karakteristiske intervaller. Under frysingen trenger telen stort sett etter en parabellignende kurve inn i materialet, idet varmeledningsmotstanden mellom luften og materialet er minst for de øverste materiallag. Den inntrengende frost, som er en følge av luftens avkjølede virkning og varmeutstrålingen til himmelrommet, blir i noen grad motvirket av den fra dybden oppadstigende varme. Differansen av disse varmemengder bestemmer dybden av den inntrengende tele. Teledybden er som figurene viser, helt forskjellig for de forskjellige materialer. Setter det etter frostperioden inn en varmeperiode (som f. eks. i fig. 50 i de siste dager av januar), så begynner øyeblikkelig opptiningen i de øverste lag ved den fra luften inntrengende varme, mens samtidig den fra grunnen oppadstigende varme tærer noe nedenufra på teleskiktet.

De to grusmaterialer A 10 og A 11, som i det vesentlige bare atskiller seg ved et noe forskjellig vanninnhold, har omtrent samme karakteristiske

temperaturforløp. Telen trenger i det nesten tørre materiale A 10 noe dypere ned og temperaturforandringene er brattere enn i det noe fuktigere materiale A 11. Det meget ringe vanninnhold av grusmaterialene bevirker for øvrig at materialtemperaturen hurtigere følger lufttemperaturens svingninger enn den gjør ved fuktig materiale som har større varmekapasitet.

For kvabbjord A 9 er den maksimale teledybde større enn for grus og telen holder seg lengere tid i jorden. Det samme er også tilfelle ved kombinasjonen av kvabbjord med underliggende grus.

I motsetning til grus og kvabbjord viser torvstrø C 8 samt trekull over myr en meget god isolering mot kulden. Torvstrø har et forholdsvis lavt varmeledningstall også i fuktig tilstand. Dette i forbindelse med materialets kuldemagasinerende evne hemmer sterkt telens inntrengen, slik at teledybden blir liten. Men av samme grunn skjer også opptiningen langsommere og telen holder seg nokså uforandret i lengere tid.

Ved kombinasjonen av trekull C 7 med myrunderlag C 6, blir den samme virkning i enda høyere grad oppnådd, idet trekull er et forholdsvis tørt og lett materiale med tilsvarende lavt varmeledningstall, samtidig med at myrmaterialet med sitt store vanninnhold har en meget stor kuldemagasinerende evne, se nederste diagram i fig. 50. Materialkombinasjonen C 7—C 6 viser den minste teledybde, men også p. g. a. det lave varmeledningstall den langsomste opptining av telen etter frostperioden. (En nærmere diskusjon av kurvene følger i avsnitt III A, 1 i forbindelse med beregningen av telen.)

Fig. 51 viser på tilsvarende måte som fig. 50 temperaturforløpet i de samme materialer, unntatt torvstrø (C 8), under målinger vinteren 1939—40 (fra 1. des. 1939 til 20. febr. 1940). (Også disse målinger er utført av ing. Michelsen.)

Vinteren 1939—40 hadde en meget lengere og strengere kuldeperiode enn vinteren 1938—39. Dessuten var den rik på sne, som dannet et tykt teleskyttende isolasjonslag over jordoverflaten.

For å klarlegge snelagets innflytelse på telen, fikk de to åpne felter med kombinerte materialskikter anledning til å sne til, mens de tre andre målefelter, A 10, A 11 og A 9, så vidt mulig hele vinteren ble holdt fri for sne, unntagen i slutten av desember og begynnelsen av januar. Ved materialene A 9 til A 11 viser således det første og tredje avsnitt av null-isotermeren frostens frie innvirkning på materialet. Observer særlig den sterke økning av teledybden i den siste periode som følge av den til midten av mars varende strenge kulde.

I de to kombinerte felter som var helt dekket av sne omtrent fra julen 1939 (se kurven for snehøyden i fig. 51), har man bare en sterkere televirkning i desember, før sneen kom. Etter at sneen har lagt seg, stopper telens inntrengen ovenifra, og i feltene A 9—A 11 frambringer den fra grunnen

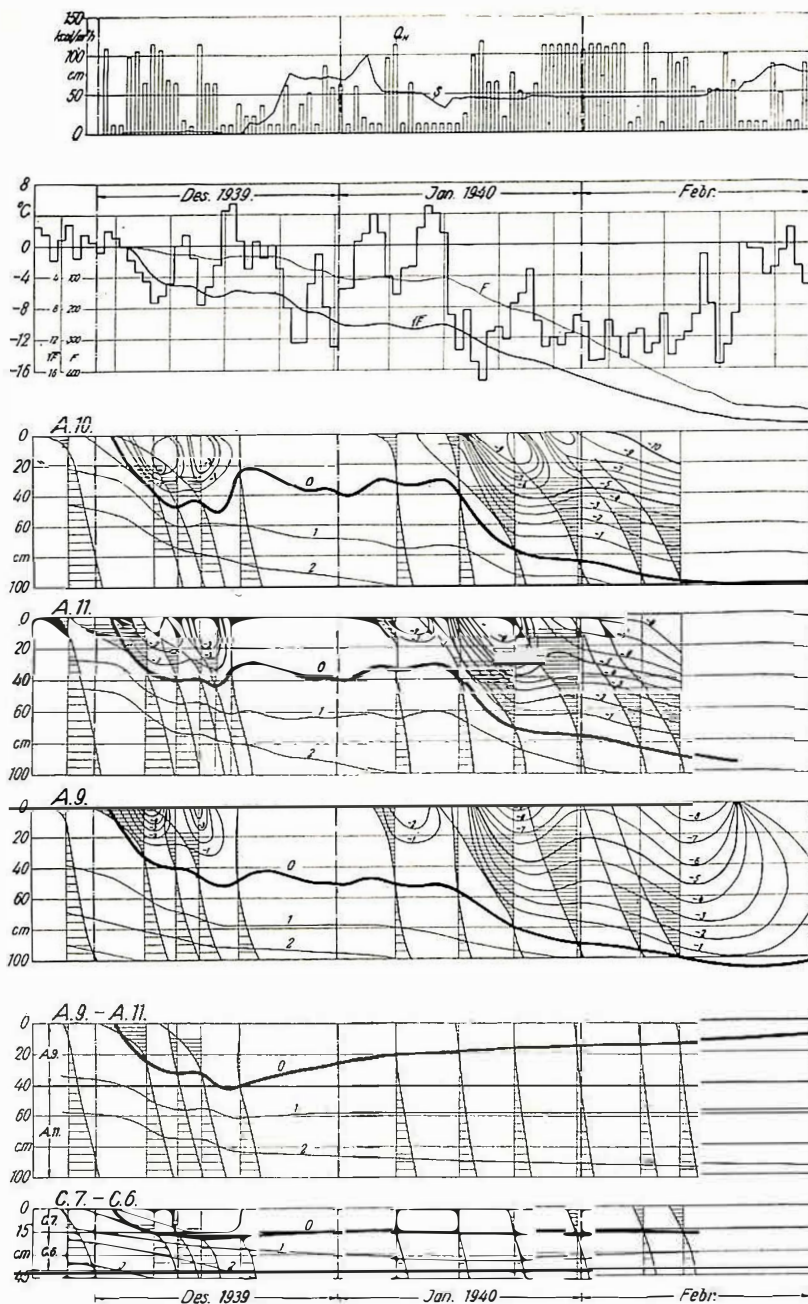


Fig. 51. Målinger vinteren 1939—40 avhengig av tiden. Samme kurver inntegnet og samme målestokk som fig. 50.

A 10 Stjørdalsgrus.
 A 11 Verdalsgrus.
 A 9 Kvabbjord.
 A 9—A 11 Kvabbjord—Stjørdalsgrus.
 C 7—C 6 Trekull-myrmateriale.

oppadstigende varme sogar en langsom optining av telen nedenfra til tross for den herskende meget sterke kulde.

Vinteren 1940—41 ble målingene gjentatt for kvabbjord A 9 og kombinasjonen kvabbjord—Verdalsgrus (utført ved ass.ing. Bakken).

●gså denne vinter hadde en streng kulde, men kul-

den var i sin virkning på jorden dempet ved de store snemengder. Over målefeltene ble sneen så vidt mulig fjernet etter hvert snefall, men hele den om-liggende jord var dekket av sne.

Kurvene viser omtrent samme forløp som i for-angående vinter, men er ikke tatt med i denne beretning.

2. Målinger med jordtermometer.

Ved målinger som ble foretatt i samme forsøksfelt med jordtermometret, fig. 48, fra R. Fuess, Berlin-Steglitz, og med termoelementer, viste jordtermometret mellom 0,2 og 0,5 °C høyere temperatur enn termoelementene. Denne unøyaktighet er så stor at teledybden ikke kan bestemmes med tilstrekkelig nøyaktighet med dette termometer.

For tilsvarende målinger med kontakttermometret, fig. 49, er resultatene sammenstilt i tabell 16.

Tabell 16. *Temperaturmålinger i Verdalsgrus (A 11) med termoelement og kontakttermometer med lang kvikksølvkule (20,5 cm), fig. 49.*

| Dybde cm | 20 | 40 | 80 |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| Termoelement °C | - 2,75 | - 0,36 | + 2,20 |
| Kontakttermometer . . °C | - 2,60 | - 0,35 | + 2,25 |

Av tabellens to siste rubrikker framgår at termoelementene og termometret viser en meget bra overensstemmelse. Avvikelsen på 0,15 °C i 20 cm dybde kan bero på unøyaktighet i termoelementenes beliggenhet eller på kvikksølvkulens store lengde, da temperaturen i så små dybder er sterkt varierende. Termometret må således tillate en ganske nøyaktig bestemmelse av teledybden.

B. MÅLINGER AV VANNINNHOLDET I TIDEN 1937 TIL 1941

For samtlige i forsøksfeltene utlagte materialer ble det til forskjellige tider tatt prøver til kontroll av vanninnholdet. Resultatet av målingene er sammenstilt i tabell 17 og 18.

Ved målingene i 1937 til 1940 ble materialprøvene tatt ut som søyler av den fulle høyde og deretter før tørkingen oppdelt i like lange deler. Da materialet ved uttak ble mer eller mindre sammenpresset, var det vanskelig å fastslå fuktighetens fordeling over høyden, likeledes ble en direkte bestemmelse av prøvens romvekt usikker.

Disse vanskeligheter ble søkt redusert ved prøvene 1941, ved hvilke materialet ble trinvis tatt opp i søylestykker av som regel 20 cm høyde. (Forsøkene i 1941 er utført ved ass.ing. Holstad.)

Tabell 17 gir en oversikt over det midlere vanninnhold i vektspersent av det fuktige materiale for målingene i april 1937 og i april—mai 1941. Tabell 18 og 18 a gir det midlere vanninnhold i vol.pct. for samtlige utførte målinger. Tallene for vol.pct. er beregnet som produkt av vektspct. i g/100 g tørrstoff og tørrstoffets romvekt i kg/dm³. Som romvekt oppgitt i tabell 18 er for prøvene i 1937 til 1940 regnet med den midlere romvekt av det ifylte materiale. Ved prøvene i 1941, tabell 18 a, er romvekten beregnet av prøvene selv som forholdet mellom tørrstoffvekt og det volum som hvert enkelt søylestykke opptok i forsøksfeltet før stykket ble tatt opp.

Ser man på forandringen av de midlere vanninn-

Tabell 17. *Midlere vanninnhold i vektspersent av fuktig materiale.*

| Nr. | Material | 1937 April | 1941 | |
|--|---------------|---------------|-------|-------------------|
| | | | April | Mai |
| a) Materialer i isolert treramme, i april 1937 dekket med jernplate (d). | | | | |
| A 1 | Sand | 4,85 (d) | 4,27 | — |
| A 9 | Kvabbjord | — | 11,65 | 9,95 |
| A 10 | Stjørdalsgrus | — | 3,86 | 3,89 |
| A 11 | Verdalsgrus | — | 4,09 | 2,68 ¹ |
| C 6 | Myr | 75,6 (d) | — | 76,8 |
| C 8 | Torvstrø | — | 80,3 | 75,2 ¹ |
| b) Materialer i åpent felt. | | | | |
| A 3 | Leire | 26,2 | — | 22,4 |
| B 5 | Kullstubb | 35,6 | — | 37,3 |
| C 7 | Trekull | 43,4 | — | 65,6 |
| C 8 | Torvstrø | 78,3 | — | 78,6 |
| J | Jord | 29,4 | 25,5 | — |

¹ Øverste skikt sterkt tørket, se fig. 52.

hold fra 1937 inntil 1941, så må man stort sett si at det er forholdsvis små variasjoner.

Vanninnholdet i vektspersent i fuktig materiale har holdt seg i de fleste materialer nær uforandret. Vanninnholdet i volumprosent viser litt større svingninger, hvorved man dog må ta omsyn til forandringen i romvekten. Denne skyldes delvis den forskjellige beregningsmåte av romvekten i 1937 og 1941, idet romvekten naturligvis ikke er jevn over hele feltet. Dessuten må man være oppmerksom på at opptagningsmetoden skulle bevirke at romvektene neppe kan være større, men muligens, særlig ved stykkformede materialer, noe mindre enn de virkelige romvekter (se f. eks. den forskjellige romvekt for A 9, A 10 og C 8 ved to i 1941 av samme felt uttatte prøver. Forandringen forklares bare delvis ved den etter opptiningen i den tørre tid mellom begge uttak inntrådte tørking av materialet).

De største blivende forandringer viser trekull C 7, for hvilke vanninnholdet fra 1937 til 1941 øket fra 43,4 til 65,6 g/100 g (fuktig materiale). Økningen i volumprosent er enu større (12,7 til 43,6 volumprosent), da romvekten øket fra 170 til 230 kg/m³. Materialet har sunket tettere sammen og særlig i de øverste skikter er trekullene blitt pulverisert, hvorved evnen til å oppta fuktigheten øket. Den samme forandring som det åpne felt viser også trekullskiktet av det i 1938 anlagte store kombinerte felt av trekull og myr, se fig. 47. Torvstrø viser i vol.pct. et lignende forhold som trekull, idet øyensynlig materialet etter hvert er blitt presset sterkere sammen.

Det er bemerkelsesverdig at de i kasse innlagte isolerte felter (a) viser omtrent samme forhold m. h. t. vanninnhold som de åpne og på alle sider av jord eller leire omgitte felter (b).

(Jorden består av leire med et ovenfor liggende

Tabell 18. Midlere vanninnhold i volumprosent.

| Nr. | Materiale | Midl. romvekt helt tørr kg/m ³ | 1937 | | 1938 Nov. | 1940 Nov. |
|--|----------------------------|---|----------|----------|--------------|--------------|
| | | | Jan. | April | | |
| a) Materialer i isolert treramme, delvis dekket med jernplate (d). | | | | | | |
| A 1 | Sand | 1550 | 7,4 (d) | 7,9 (d) | — | 4,9 (d) |
| A 9 | Kvabbjord | 1850 | — | — | 23,3 | 20,4 |
| A 10 | Stj.grus | 1800 | — | — | 4,2 (d) | 7,0 |
| A 11 | Verdalsgrus..... | 1800 | — | — | 7,9 (d) | 7,6 |
| C 6 | Myr | 200 | 79,1 (d) | 62,0 (d) | 73,2 (d) | 61,0 (d) |
| C 8 | Torvstrø | 85 | — | — | 23,3 | 20,4 |
| b) Materiale i åpent felt. | | | | | | |
| A 3 | Leire | 1400 | 42,5 | 49,8 | — | 57,6 |
| B 5 | Kullstubb | 380 | 16,6 | 20,6 | 17,6 | 15,3 |
| C 7 | Trekull | 170 | 11,3 | 12,7 | 23,6 | 23,4 |
| C 8 | Torvstrø | (85) | — | 30,7 | — | — |
| J | Jord..... | 1300 | 39,7 | 54,1 | 41,0 | 39,7 |
| c) Materialkombinasjoner i åpent felt. | | | | | | |
| A 9 | Kvabbjord | 1850 | — | — | 24,8 | 25,4 |
| A 11 | Verdalsgrus..... | 1800 | — | — | 7,8 | 7,9 |
| C 7 | Trekull ¹ | (170) | — | — | 25,0 | 22,0 |
| C 6 | Myr ¹ | 200 | — | — | 60,0 | (45,2) |

¹ Feltets størrelse 2 × 2 m². Dybde 40 cm.

skikt matjord med fuktighetsinnhold av ca. 25—30 g/100 g = henimot 40 vol.pct.) Herav synes å framgå at vanninnholdet i midten av feltene hvor prøvene er tatt, har holdt seg nokså uavhengig av omgivelsenes fuktighetstilstand, slik at de målte vannmengder skulle gi et ganske godt holdepunkt med omsyn til de vanninnhold som man kan vente vil innstille seg i masseutskiftningsmaterialer.

Under forsøkene i april 1937 og april 1941 var en del av materialet frosset. Prøvene i de frosne skikter viser en tydelig øking i vanninnholdet.

Hva fordelingen av fuktigheten over dybden angår, så gir fig. 52 en orientering for materialene A 9, A 10, A 11 og C 8, for hvilke temperaturfordelingen er nærmere fulgt i fig. 50 og 51. Vanninnholdet er opptegnet avhengig av dybden, så vel i vol.pct.

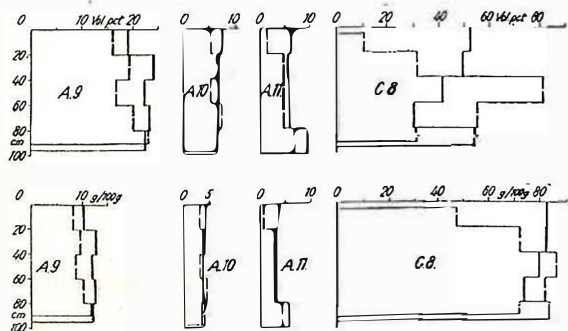


Fig. 52. Fordeling av vanninnholdet over dybden i vol.pct. og i vektspct. (g/100 g). Materiale i isolert treramme.

A 9 Kvabbjord. — Målinger april 1941.
A 10 Stjørdalsgrus. — — — Målinger mai 1941.
A 11 Verdalsgrus.
C 8 Torvstrø.

som i vektspct. (g/100 g) for hvert av de anførte materialer. Ved alle materialer viser det seg å ha foregått en tørking av materialet i tiden fra begynnelsen av april og til slutten av mai. Tørkingen har foregått sterkest i øverste skikt, men som regel også gjennom hele materialhøyden. Stjørdalsgrus A 10 har noenlunde jevn fuktighetsfordeling, mens såvel Verdalsgrus A 11 som også kvabbjord A 9 i middel viser noen stigning av vanninnholdet med dybden. De største forandringer i vanninnholdet opptrer ved torvstrø C 8, særlig i øverste skikt.

I fig. 53 er opptegnet vanninnholdet i vektspct. og vol.pct. for de kombinerte materialer A 9—A 11 og C 7—C 6. Man ser at det er utpreget skille i vanninnholdet mellom de forskjellige over hverandre liggende materialer.

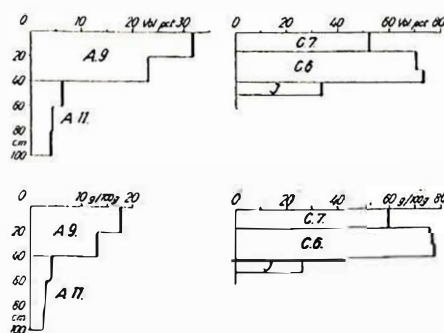


Fig. 53. Fordeling av vanninnholdet i vol.pct. og i vektspct. for materialkombinasjoner i åpent felt. A 9—A 11, Kvabbjord-Verdalsgrus, C 7—C 6 Trekullmyr. Målinger april 1941.

Tabell 18 a. *Midlere vanninnhold i volumprosent.*

| Nr. | Materiale | Provens rønnvekt helt tørr kg/m ³ | 1941 | |
|--|-----------------|---|-------|------------------|
| | | | April | Mai |
| a) <i>Materiale i isolert treramme, delvis dekket med jernplate (d).</i> | | | | |
| A 1 | Sand | 1290 | 5,5 | — |
| A 9 | Kvabbjord . | 1680 | 22,2 | — |
| | | 1765 | — | 18,7 |
| A 10 | Stj.grus . . . | 1750 | 6,8 | — |
| | | 1570 | — | 6,4 |
| A 11 | Verdalsgrus | 1640 | 7,0 | — |
| | | 1620 | — | 4,5 ¹ |
| C 6 | Myr | 215 | — | 71,5 |
| C 8 | Torvstrø . . . | 109 | 44,4 | — |
| | | 124 | — | 37,5 |
| b) <i>Materiale i åpent felt.</i> | | | | |
| A 3 | Leire | 1360 | — | 37,3 |
| B 5 | Kullstubb . . | 410 | — | 24,5 |
| C 7 | Trekull | 230 | — | 43,6 |
| C 8 | Torvstrø . . . | 130 | — | 48,6 |
| J | Jord | 1130 | 38,5 | — |
| c) <i>Materialkombinasjoner i åpent felt.</i> | | | | |
| A 9 | Kvabbjord . | 1540 | 27,5 | — |
| A 11 | Verdalsgrus | 1400 | 4,8 | — |
| C 7 | Trekull | 350 | 52,0 | — |
| C 6 | Myr | 225 | 72,0 | — |

¹ Uten omsyn til overste skikt 5,3 vol.pct.

III. Sammenligning mellom målte teledybder og beregnede verdier.

A. TELEDYBDEN BEREGNET ETTER DEN I FØRSTE DEL OPPSTILTE FORMEL FOR FRYSEMOTSTANDEN

1. Målinger i forsøksfeltet.

Frysemotstanden Ω for et materiallag ble i [1] avsnitt IV. A. 2. definert som det produkt av kuldegrader i luften ($-^{\circ}\text{C}$) gange tid (h) som laget forbruker, idet frosten trenger ned fra dets øvre til dets nedre overflate. Under bestemte forenknelde antagelser kunne Ω beregnes av ligningen:

$$\Omega = \frac{\delta^2}{2} \left[\omega + \frac{2}{\delta} \left(\frac{1}{\alpha} + \sum \delta_0 / \lambda_0 \right) q \right] \text{ h } ^{\circ}\text{C} \quad \text{er}$$

δ = masseutskiftningsmaterialets tykkelse i m.
 $\omega = q/\lambda$ = spesifikke frostledningsmotstand av utskiftningsmaterialet (uttas av [1] fig. 37).

α = varmeovergangstall fra luft til jordoverflate.

$\sum \delta_0 / \lambda_0$ = varmeledningmotstand av materiallag over masseutskiftningsmaterialet.

$q = q_f + q_t$ = materialets kuldemagasinerer i dets vanninnhold og torrstoff (uttas av [1] fig. 37, avhengig av materialets vanninnhold i vol.pct.).

Når der ligger ett eller flere andre materiallag over vedkommende lag, må disse overliggende lag under sin frysing først ha forbrukt et produkt av kuldegrader gange tid = $\sum \Omega_0$.

Betegner man nu som frostmengden F , det største produkt av kuldegrader gange tid som forekommer i løpet av vinteren i en sammenhengende tid, hvilket finnes ved å planimetrere den varierende, og i en del tidsavsnitt eventuelt også positive, lufttemperaturkurve, så er $F = \sum \Omega$ for de lag frosten trenger igjennom. Stanser frostens nedtrengning i en dybde x i det nederste lag (x regnet fra lagets overflate), og betegnes de overliggende lags samlede frysemotstand fremdeles $\sum \Omega_0$, vil man ha at

$$F - \sum \Omega_0 = \frac{x^2}{2} \left[q/\lambda + 2/x \left(1/\alpha + \sum \delta_0 / \lambda_0 \right) q \right] \text{ h } ^{\circ}\text{C}.$$

Herav kan x beregnes

$$x = -\lambda \left(\frac{1}{\alpha} + \sum \frac{\delta_0}{\lambda_0} \right) + \sqrt{\lambda^2 \left(\frac{1}{\alpha} + \sum \frac{\delta_0}{\lambda_0} \right)^2 + 2 (F - \sum \Omega_0) \cdot \frac{\lambda}{q}}$$

Finnes det ingen varmeovergangsmotstand $1/\alpha$ på materialets overflate og likeledes ingen overliggende lag av sne eller et annet materiale, så er teledybden bare avhengig av frostmengden samt materialets varmeledningstall og kuldemagasinerende evne: $x = \sqrt{2 F \lambda / q}$.

Til beregning av x finnes frostmengden F grafisk ved planimetrering av lufttemperaturkurven avhengig av tiden for den behandlede kuldeperiode. Kurven for F og for \sqrt{F} er inntegnet i fig. 50 og 51.

(Da x er avhengig av produktet av frostmengde og materialets varmeledningstall, og da i sin alminnelighet varmeledningstallet for et bestemt materiale er forskjellig over og under 0° , skulle egentlig temperaturkurvens avsnitt over og under 0° planimetreres hver for seg. Før den positive flate (for $+^{\circ}\text{C}$) blir trukket fra den negative flate, skulle nemlig den positive flate multipliseres med forholdet mellom varmeledningstallene over og under 0°C .)

Når frysingen en tid avbrytes av en mellomliggende opptinningsperiode, skjer nemlig tiningen ovenifra, og varmen som bevirker tiningen, må derfor ledes ned gjennom opptint materiale. Når det opptinte igjen fryser ovenifra, må varmen igjen ut, men gjennom frosset materiale. Når det opptinte materiale er frosset på ny, kan teledybden fortsette å øke (se fig. 50 og 51).

Korreksjonen av F måtte for de forskjellige materialer foretas forskjellig, da for en del viktige masseutskiftningsmaterialer som grus, sand og kuppelstein, varmeledningstallet over 0° ved vanlig vanninnhold er større enn i frosset materiale, mens det omvendte er tilfelle ved samtlige materialer med lavere romvekt og som regel større vanninnhold (se [1] fig. 19—28). Av den grunn kompliserer korrek-

sjonen så pass meget at det ikke står i forhold til dens i alminnelighet ringe betydning. Noen av forsøkene ble regnet med og uten korreksjon av F for å kontrollere innflytelsen).

Varmeledningstallet λ for det frosne materiale og materialets kuldemagasinierende evne q er avhengig av materialets vanninnhold. Som vanninnhold regnes det midlere vanninnhold f i materialet som er bestemt ved direkte måling under prøvene. Verdien f er for hvert materiale oppgitt i fig. 50 og 51. For dette vanninnhold uttas tallverdiene for q av [1] fig. 37 og for λ av [1] fig. 30.

Varmeovergangsmotstanden $1/\alpha$ mellom materialoverflate og luft er ved åpne felter avhengig av feltets beliggenhet og vindens retning og hastighet, og kan bare tilnærmet bestemmes. Vindhastigheten på taket av en frittstående bygning nær forsøksfeltet androg under forsøksperioden 1938—39 til gjennomsnittlig ca. 4,0 m/s., i 1939—40 til ca. 3,4 m/s. Forsøksfeltet lå i le for den vanlige vindretning, slik at vindhastigheten her var meget mindre. $1/\alpha$ anslås til i middel 0,15 m² h ° C/kcal. for åpne felter. For de med jernplate avdekkede materialer i treramme er motstanden større, idet overgangsmotstanden økes ved motstanden av det uunngåelige tynne luftlag mellom materialoverflate og jernplate. Den samlede motstand er iberegnet i $1/\alpha$ og anslått til 0,25 m² h ° C/kcal.

Da i forsøksfeltet masseutskiftningsmaterialene ikke er dekket på overflaten med andre materialer, kan $\sum \delta_0/\lambda_0$ settes lik 0, når man ikke har noe snelag over materialet. Dette var tilfelle vinteren 1938—39.

Som tidligere nevnt opptrådte i 1939—40 omtrent fra julen 1939 meget sterke snefall som etter målin-

gene ved Trondheims meteorologiske stasjon er inntegnet i fig. 51 i forbindelse med lufttemperaturen.

For å klarlegge sneens innflytelse fikk de to felter med kombinerte materialer lov til å sne til, mens på de tre øvrige felter sneen ble fjernet i begynnelsen av januar måned. Det tykke snelag avbryter praktisk talt telens videre inntrengen til tross for den vedvarende strenge kulde, se fig. 51.

Det er vanskelig å anslå sikre tallverdier for sneens varmeledningstall, da de meget sterkt varierer med sneens romvekt ($\lambda = 0,04$ ved $\gamma_r = 100$; 0,2 ved $\gamma_r = 300$ kg/m³). Romvekten er avhengig av hvor tett sneen er falt, hvor lenge snelaget har ligget på feltet, om det har vært meget vind, om sneen inn i mellom er tinet og i hvilken grad snelaget f. eks. gjennom trafikk er sammenpresset. Hvor nysnelag ligger over eldre sne, kan romvekten og dermed varmeledningstallet variere sterkt i forskjellig høyde av snelaget.

I det foreliggende tilfelle med vedvarende streng kulde må antas at snelaget var forholdsvis løst, særlig over feltet med kvabbjord og myr, og muligens noe fastere over det store felt med trekull og myr. Rent anslagsvis regnes det med $\sum \delta_0/\lambda_0 = 5$, svarende f. eks. til $\lambda_0 = 0,1$ kcal/mh ° C og $\delta_0 = 0,5$ m.

På grunnlag av det anførte ble teledybden beregnet for forsøkene vinteren 1938—39 og 1939—40, se tabell 19 og 20. Beregningene i tabell 19 er gjennomført for den maksimale teledybde, mens ved beregningen i tabell 20 er fryseperioden delt i 3, henholdsvis 2 tidsavsnitt, svarende til intervallene uten snedekke og med snedekke.

Ved forsøkene 1938—39 (fig. 50) opptrådte den maksimale teledybde omkring den 29. jan. 1939,

Tabell 19. Målt og beregnet teledybde vinteren 1938—39.

Fryseperiode 1. des. 1938 til 29. juni 1939.

| Nr. | Materiale | f vol.pct. | λ kcal/mh ° C | q kcal/m ² | F h ° C | 1/ α m ² h ° C/kcal | δ i cm | | Alternativt | |
|------|------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--|-------------------|--------------|-------------|---------------------------|
| | | | | | | | Beregnet | Målt | 1/ α | δ i cm beregnet |
| A 10 | Stjørdalsgrus .. | 4,2 | 0,39 | 5 000 | 4040 3080 ¹ | 0,25 0,25 | 70,2 60,2 | 66,0 65,0 | 0,1 0,1 | 75,5 66,5 |
| A 11 | Verdalsgrus ... | 7,9 | 0,50 | 8 000 | 4040 3080 ¹ | 0,25 0,25 | 59,7 50,8 | 56,0 58,0 | 0,1 0,1 | 66,2 57,3 |
| A 9 | Kvabbjord | 23 | 1,74 | 20 400 | 4040 | 0,15 | 60,9 | 78,0 | 0,05 | 74,7 |
| C 8 | Torvstrø | 26 | 0,18 | 21 600 | 4040 | 0,15 | 23,4 | 47,0 | 0,05 | 25,0 |
| A 9 | Kvabbjord | 25 | 1,88 | 21 100 | 2160 | 0,15 | 40,0 | | | |
| A 11 | Verdalsgrus ... | 7,8 | 0,50 | 7 900 | 1880 | 0,15 | 34,0 | | | |
| | Sum A 9—A 11 | | | | 4040 | | 74,0 | 67,0 | — | — |
| C 7 | Trekull | 25,0 | 0,23 | 21 000 | 1500 | 0,15 | 15,0 | | | |
| C 6 | Myrmat. | 60,0 | 0,77 | 50 000 | 2540 | 0,15 | 6,0 ² | | | |
| | Sum C 7—C 6 . | | | | 4040 | | 21,0 ² | 28,0 | — | — |

¹ Fryseperiode regnet inntil 10. jan. 1939.

² ●ker til 8, henholdsvis 23 for 50 vol.pct. fuktighet i myrmaterialet.

Tabell 20. Beregnet og målt teledybde vinteren 1939—40.
Fryseperiode 1. des. 1939 til 20. febr. 1940, delt i 3 intervaller:

- I. 1. des. 1939—15. des. 1939.
- II. 15. des. 1939—15. jan. 1940.
- III. 5. jan. 1940—20. febr. 1940.

| Nr. | Materiale | f vol.pct. | λ kcal/mh °C | q kcal/m ² | Intervall | F h °C | 1/α m ² h °C/kcal | Σ δ ₀ /λ ₀ m ² h °C/kcal | δ i cm | |
|------|-------------------|---------------|-----------------|--------------------------|-----------|-----------|---------------------------------|--|----------|------|
| | | | | | | | | | Beregnet | Målt |
| A 10 | Stjordalsgrus .. | 4,2 | 0,39 | 5 000 | I | 990 | 0,25 | 0 | 30,8 | |
| | | | | | II | 1 880 | 0,25 | 5+0,79 | 6,0 | |
| | | | | | III | 9 530 | 0,25 | 0,1+0,94 | 81,6 | |
| | | | | | | 12 400 | | | 118,4 | 102 |
| A 11 | Verdalsgrus ... | 7,9 | 0,50 | 8 000 | I | 900 | 0,25 | 0 | 24,8 | |
| | | | | | II | 1 880 | 0,25 | 5+0,495 | 4,0 | |
| | | | | | III | 9 530 | 0,25 | 0,1+0,578 | 72,1 | |
| | | | | | | 12 400 | | | 100,9 | 95 |
| A 9 | Kvabbjord | 22,0 | 1,60 | 19 800 | I | 990 | 0,15 | 0 | 22,6 | |
| | | | | | II | 1 880 | 0,15 | 5+0,14 | 1,5 | |
| | | | | | III | 9 530 | 0,15 | 0,1+0,15 | 75,6 | |
| | | | | | | 12 400 | | | 99,7 | 107 |
| A 9 | Kvabbjord over | 25,0 | 1,88 | 21 100 | I | 990 | 0,15 | 0 | 22,4 | |
| A 11 | Verdalsgrus | 7,8 | 0,50 | | II+III | 11 500 | 0,15 | 5+0,119 | 10,2 | |
| | Sum A 9—A 11 | | | | | 12 400 | | | 32,6 | 15 |
| C 7 | Trekull over | 25,0 | 0,23 | 21 000 | I | 990 | 0,15 | 0 | 10,9 | |
| | | | | | II | 4 910 | 0,15 | 5+0,474 | 4,1 | |
| C 6 | Myrmat. | 60,0 | 0,77 | 50 000 | III | 6 500 | 0,15 | 5+0,652 | 2,0 | |
| | | | | | | 12 400 | | | 17,0 | 18 |

etter hvilken datum det heller ikke var noen kuldeperiode. Regnet til denne datum gir beregningen av frostmengden *F* også størst tallverdi: 4040 h °C. Teledybden i 1938—39 er derfor for alle materialene beregnet for den 29. jan. For alle materialer, unntatt de to sorter grus, øker teledybden stadig til denne datum. For begge grussorter A 10 og A 11 når teledybden et maksimum den 10. jan., avtar deretter litt og øker så igjen til omtrent samme dybde den 29. jan. For disse to materialer er dybden beregnet også for 10. jan. Inntil denne datum var *F* = 3080 h °C.

For de kombinerte materialer A 9—A 11 og C 7—C 6 er beregningen gjennomført på den måte at det først bestemtes frostmengden og tidspunktet for hel gjennomfrysning av det øverst liggende materiale; fra dette tidspunkt ble så den videre frysing bestemt som innvirken av frostmengdens resterende del på det underliggende materiale.

De i tabell 19 og 20 sammenstilte beregnede og målte teledybder viser i gjennomsnitt ikke større avvikelser enn man med rimelighet måtte vente.

Hvis man betrakter hele tallrekken, vil man legge merke til at de målte teledybder viser mindre

variasjoner enn de beregnede. Dette har sin årsak i den lille utstrekning av hvert forsøksfelt, idet varmen forsøker å utligne seg til siden og å jevne ut teledybden. Virkningen av denne utjevning framgår tydelig ved å sammenligne material C 8 torvstrø med forsøksfelt 1 × 1 m² med materialet C 7—C 6 trekull og myr med forsøksfelt av 2 × 2 m². Begge felter hadde beregningsmessig meget liten teledybde, det første 23,4, det andre 21 cm, de målte teledybder er henholdsvis 47 og 28 cm, altså for det lille felt meget større øking enn for det store felt.

For å undersøke hvilken betydning størrelsen av forsøksfeltet har, ble det i det store felt med trekull og myr, fig. 47, innlagt termoelementer i samme dybde 25 og 45 cm både i midten av forsøksfeltet og henholdsvis 50 og 10 cm fra den ene sidekant. Fig. 54 viser for et par karakteristiske dager forløpet av isothermene i forsøksfeltet. Kurvene viser større krumming mot nabofeltet under opptining 6. febr. 1939 enn under frysing 23. jan. 1939. Forklaringen ligger deri at temperaturforskjellen mellom feltet og det omgivende material under frysingen øker og er størst ved begynnende opptining.

Ved de to felter med grus A 10 og A 11 er den

beregnete og målte teledybde, tabell 19, praktisk talt den samme pr. 10. jan. etter en jevnt vedvarende kuldeperiode. Ved den deretter følgende korte mildværsperiode med senere nye frostdager har antageligvis den mindre teledybde i de begrensede felter

utgravet i 1,2 m dybde. Feltene var dekket med tak mot sne, derved ble varmeutstrålingen og sneen uten innflytelse på teledybden. Målingene er utført for 3 materialer: a) Vått myrmaterial, vanlig mosemyr, romvekt helt tørr $\gamma_r = 94 \text{ kg/m}^3$, vann-

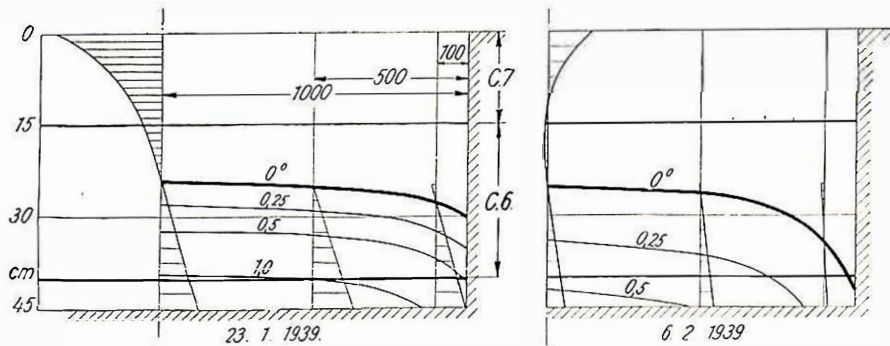


Fig. 54. Temperaturforløpet i et midtplan av det store forsøksfelt (C 7—C 6) trekull-myrmateriale, på 2 forsøksdager 1939.

fått tid til å redusere teledybden i grusfeltene som viser seg i verdiene pr. 29. jan. og av fig. 50.

(Feltet Verdalsgrus er f. eks. bare på en side begrenset av material med tilnærmet samme teledybde, på de 3 andre sider fantes henholdsvis myrmaterial (C 6), torvstrø (utenfor kassen) og torvstrø (C 8). Det siste felt har til gjengjeld fått øket teledybde.)

2. Målinger ved Nordlandsbanen.

For å prøve de oppstilte formler under andre forhold og på materialer hvor det ikke forelå direkte måling av varmeledningstallet, ble det foretatt en gjennomregning av noen forsøk, utført av ing. Arne Eriksen vinteren 1936—37 ved Nordlandsbanen [2]. Forsøksfeltene var sirkulære med 1,25 m diam.

innhold $f = 36 \text{ vol.pct.}$ b) tørr torvmyr $\gamma_r = 160 \text{ kg/m}^3$, $f = 2,9 \text{ vol.pct.}$ c) grus (hovedmengde i stykkstørrelse fra 0,5 til 2 mm, altså mindre enn A 10) $\gamma_r = 1380 \text{ kg/m}^3$, $f = 3,3 \text{ vol.pct.}$

Temperaturene er målt med kvikksølvtermometer innsatt i isolitrør med messingfot av 5 cm diam. på forskjellige steder i feltet for de forskjellige dybder (0,5, 10, 20, 35, 60 og 105 cm).

Fig. 55 viser de i beretningen [2] meddelte temperaturkurver.

I tabell 21 er frostmengde F og teledybde δ beregnet for tiden 1. jan. til 20. mars 1937. Varmeovergangsmotstanden er satt $1/\alpha = 0,15$. Varmeledningstallene λ er fastsatt på grunnlag av [1] fig. 26, 28 og 31.

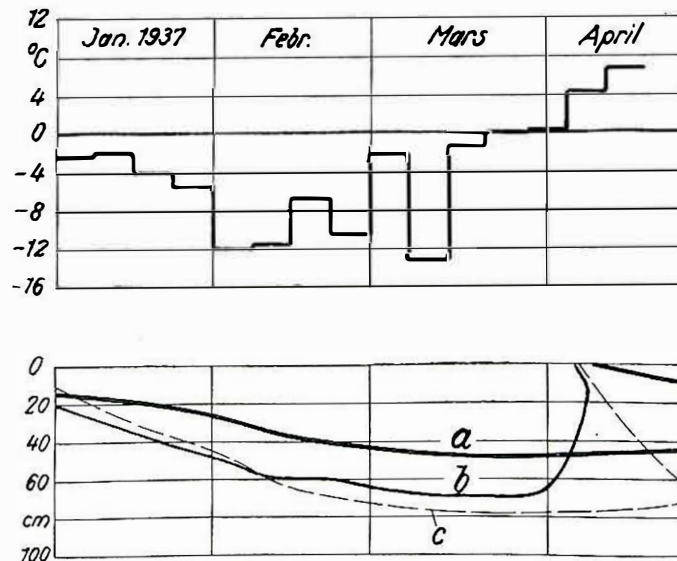


Fig. 55. Målinger av ing. Arne Eriksen ved Nordlandsbanen. Midlere lufttemperatur per uke og materialtemperatur for myrmaterial (a og b) med vanninnhold 36,0 og 2,9 vol.pct., samt for grus c med vanninnhold 3,3 vol.pct.

Tabell 21. Forsøk av Arne Eriksen vinteren 1936—37 ved Nordlandsbanen. Fryseperiode 1. jan til 20. mars 1937.

| Material | γ_r tørr kg/m ³ | f vol.pct. | λ kcal/mh °C | q kcal/m ² |
|-------------|--------------------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------|
| Mosemyr ... | 160 | 36,0 | 0,35 | 30 200 |
| Torvmyr ... | 94 | 2,9 | 0,06 | 2 570 |
| Grus..... | 1 380 | 3,3 | 0,23 | 2 850 |

| Material | F h °C | 1/ α m ² h °C/kcal | δ i cm | |
|-------------|-----------|---|---------------|------|
| | | | Beregnet | Målt |
| Mosemyr ... | 11 700 | 0,15 | 47,0 | 48 |
| Torvmyr ... | 11 700 | 0,15 | 73,0 | 69 |
| Grus..... | 11 700 | 0,15 | 134,0 | 78 |

For det tørre og fuktige torvmateriale er den beregnede teledybde i meget god overensstemmelse med de målte teledybder, mens beregningen av det tørre grusmateriale gir meget større teledybde enn det ble målt. Dette kan skyldes delvis den fra grunnen oppadstrømmende varme og en varmetilførsel til forsøksfeltet fra siden. Men det kan også tenkes at materialets meget lave vanninnhold har øket under prøvene, hvorved λ og særlig q vesentlig forandres.

Forsøkene er interessante for så vidt som de viser at man får større teledybde i det tørre enn i det fuktige torvmateriale, og bekrefter dermed det som i første del [I (s. 22)] er utledet ad teoretisk vei, nemlig at man får den største teledybde når materialet er tørt.

B. INNFLYTELSEN AV DEN FRA GRUNNEN OPPSTRØMMENDE VARME OG AV VARME-UTSTRÅLINGEN TIL HIMMELROMMET

Som anført i [I s. 21 avsnitt a] er det ved oppstillingen av formelen for frysemotstanden Ω ikke tatt omsyn til den fra grunnen oppadstigende varme og til varmeutstrålingen til himmelrommet. Årsaken var ønsket om foreløbig å utsjalte alle faktorer av mindre betydning for derved å kunne oppnå den enklest mulige formel som ga et, under omsyn til alle store og helt utsjaltbare usikkerhetsmomenter, for formålet tilstrekkelig nøyaktig resultat. At dette også blir nådd, framgår av den gode overensstemmelse i forløpet av den i fig. 50 og 51 inntegnede kurve \sqrt{F} med null-isotermene under nedfrysningsperioden, samt av de i tabell 19 til 21 sammenstilte beregninger.

For allikevel å få fastslått størrelsesgraden av den feil som kan begås ved å sette nevnte varmemengder ut av betraktning, skal det i det følgende kortfattet meddeles gangen og resultatet av foretatte overlagsberegninger.

1. Fra grunnen oppstrømmende varme.

På grunn av den årlige variasjon i luftens middeltemperatur beveger det seg ned gjennom grunnen en temperaturbølge hvis fase i jordoverflaten omtrent faller sammen med fasen for luftens middeltemperatur t_L i fig. 56. I en dybde x er fasen forsinket slik at den maks. temperatur her inntreer noe senere på

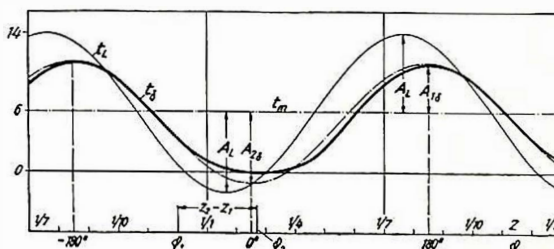


Fig. 56. Midlere årlige svingning av lufttemperatur t_L og jordtemperatur t_δ i dybde δ avhengig av tiden z i måneder, henholdsvis vinkel φ .

t_m = Årsmiddel av lufttemperatur t_L .
 A_L = Lufttemperaturens amplitude.
 $A_{1\delta}$ og $A_{2\delta}$ = Jordtemperaturens positive og negative amplitude, regnet fra t_m .

året enn maks.-temperaturen i luften. Nedover i dybden reduseres enn videre svingningenes amplitude, slik at temperaturen etter hvert blir konstant lik middeltemperaturen for hele året.

Er A = temperaturens maks. amplitude i overflaten, °C, (regnet positiv),
 T = tiden for en helsvingning, 8760 timer,
 γ_r' = romvekten i kg/m³ (inkl. vanninnholdet),
 c = sp. varme kcal/m³ °C (inkl. vanninnholdet),
 Z = tiden i timer regnet fra tidspunktet for laveste temperatur i overflaten,

og antas temperatursvingningen i overflaten som en ren cosinussvingning, kan temperaturen t i dybde δ beregnes etter formelen

$$t = -A \cdot e^{-Bx} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot Z - B \cdot x\right) + t_m$$

hvor $B = \sqrt{\frac{\pi \gamma_r' \cdot c}{T \lambda}}$

I formelen for t angir faktoren e^{-Bx} , til hvilken brøkdelen maksimalamplituden er redusert i dybde x , og leddet $-Bx$ i parentesen angir svingningens faseforskyvning, d. v. s. tidsforsinkelse i samme dybde i forhold til svingningen i overflaten. Forsinkelsen blir $Z_f = \sqrt{T} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_r' \cdot c}{4\pi \cdot \lambda}} \cdot x$. Den er altså

proporsjonal dybden x , hvilket er å vente, men dessuten også proporsjonal kvadratroten av svingetiden T . (Av den grunn vil den i virkeligheten uregelmessige temperatursvingning i overflaten som skyldes lufttemperaturens uregelmessighet stadig forandre form under sin forplantning som varmebølge nedover jorden, jfr. også havbølger).

Den fra grunnen om vinteren oppover strømmende varme skyldes praktisk talt i sin helhet temperaturbølgene i jorden, idet den varme som skyldes jordens indre høye temperatur forholdsvis er meget liten.

Den varmemengde som i tiden Z_1 til Z_2 passerer oppover gjennom en flate på 1 m^2 er i dybde x :

$$Q = \lambda \cdot \int_{Z_1}^{Z_2} \frac{\partial t}{\partial x} \cdot dZ \text{ kcal, hvor } \frac{\partial t}{\partial x}$$

altså kan finnes ved derivasjon av ligningen for t :

$$\frac{\partial t}{\partial x} = A \cdot B \cdot e^{-Bx} \cos \left(\frac{2\pi}{T} Z - B \cdot x \right) - A \cdot B \cdot e^{-Bx} \sin \left(\frac{2\pi}{T} Z - B \cdot x \right) \text{ } ^\circ \text{C/m.}$$

I formelen for Ω var tatt med den varme som måtte bortføres på grunn av avkjølingen av alt materiale over den maksimale teledybde δ . Bruker vi denne dybde δ som utgangspunkt for x og innfører temperaturamplituden A_δ i dybde δ istedenfor A i overflaten, og regner vi Z fra det tidspunkt hvor temperaturen i dybde δ er lavest, d. v. s. omtrent når vi har maksimal teledybde, kan i dybde δ settes

$$\frac{\partial t}{\partial x} = A_\delta \cdot B \left[\cos \left(\frac{2\pi}{T} \cdot Z \right) - \sin \left(\frac{2\pi}{T} \cdot Z \right) \right].$$

Ved integrasjonen får man da i dybde δ

$$Q = \lambda A_\delta \cdot B \cdot \frac{T}{2\pi} \left[\sin \left(\frac{2\pi}{T} \cdot Z \right) + \cos \left(\frac{2\pi}{T} \cdot Z \right) \right] \text{ kcal.}$$

A_δ kan beregnes tilstrekkelig nøyaktig ved å sette $A_\delta = 1/2 (A_{1\delta} + A_{2\delta})$, se fig. 56.

Når man ikke kan sette $A_{1\delta} = A_{2\delta}$, skyldes det bl. a. at det på den del av kurven som faller i fryseperioden opptrer et annet varmeledningstall i jor-

den (nemlig for frossent materiale). I tidspunktet umiddelbart før frysingen setter inn, må man anta at temperaturbølgen i den øvre del av jorden har hatt tid til å anta den form som den ville ha hatt hvis man hadde konstante varmeledningstall, nemlig for opptint materiale over hele året. På dette grunnlag kan $A_{1\delta}$ beregnes til en verdi $A_{1\delta} = A_L \cdot e^{-B\delta}$.

Hva $A_{2\delta}$ angår, så må den beregnes som differans av luftens middeltemperatur t_m og den laveste opp-tredende temperatur i dybde δ , d. v. s. 0°C . Da imidlertid temperaturkurven som funksjon av tiden omkring minimumspunktet er betydelig mer avflatet enn en cosinuskurve, må den cosinuskurve som skal erstatte den virkelige temperaturkurve ha en laveste verdi som er omtrent 1°C under 0 . $A_{2\delta}$ må dermed kunne settes lik $t_m + \text{ca. } 1^\circ \text{C}$.

På denne måte vil man finne at den midlere jordtemperatur i dybde δ blir noe lavere enn luftens middeltemperatur. Dette vil også stemme med de virkelige forhold, idet i alminnelighet kulden under frysingen strømmer nedover gjennom de øvre jordlag med et høyere varmeledningstall (for frossent materiale) enn den gjør oppover under opptiningen.

I tabell 22 er for Trondheim beregnet B samt $A_{1\delta}$ for 4 sterkt forskjellige materialer. Materialene representerer omtrent yttergrensene av variasjonen i λ og i $(\gamma_r' \cdot c)$. De to første materialer A 10 og A 9 tilhører prøvene i 1939—40, fig. 51 ($F = 12\,400 \text{ h}^\circ \text{C}$), de to siste, prøver av ing. Arne Eriksen på Nordlandsbanen ($F = 11\,700$), fig. 55.

Tabellen gir i middel $A_{1\delta} = 5^\circ \text{C}$. For Trondheim får man $A_{2\delta} = 7^\circ \text{C}$, idet $t_m = 6^\circ \text{C}$ og $A_\delta = 1/2 (A_{1\delta} + A_{2\delta}) = 6^\circ \text{C}$.

I tabell 22 er også utregnet tidsforsinkelsen $Z_f \delta$ i dybde δ . Som det sees, blir tidsforsinkelsen i alminnelighet noe mindre enn en måned. (Ved utregning

Tabell 22. Til beregning av temperatursvingningen i dybde δ .

| Forsøksfelt | $\gamma_r' \cdot c$ kcal/m ² °C | λ kcal/m h °C | $B = \sqrt{\frac{\pi \gamma_r' c}{T \lambda}}$ 1/m | Beregnet δ m | $e^{-B\delta}$ | $A_{1\delta}$ °C ved $\lambda = 8$ | $Z_f \delta$ h |
|-----------------------|--|--------------------------|---|------------------------|----------------|---------------------------------------|-------------------|
| A 10 Stjørdalsgrus . | $\left. \begin{matrix} T = 358 \\ V = +42 \end{matrix} \right\} 400$ | 0,39 | 0,605 | 1,18 (tab. 20) | 0,49 | 3,9 | 983 |
| A 9 Kvabbjord | $\left. \begin{matrix} 359 \\ +220 \end{matrix} \right\} 579$ | 1,60 | 0,361 | 1,01 (tab. 20) | 0,67 | 5,4 | 505 |
| Meget våt mosemyr | $\left. \begin{matrix} 72 \\ +360 \end{matrix} \right\} 432$ | 0,35 | 0,668 | 0,47 (tab. 21) | 0,73 | 5,8 | 435 |
| Meget tørr torvmyr | $\left. \begin{matrix} 42 \\ +29 \end{matrix} \right\} 71$ | 0,06 | 0,654 | 0,73 (tab. 21) | 0,62 | 5,0 | 660 |
| Middel | | | | | | 5,0 | 650 |

T for Tørstoff —, V for Vanninnholdet.

av $A_{1\delta}$ og $Z_{J\delta}$ er innsatt λ og c for opptint materiale). Man vil derfor i alminnelighet kunne sette $Z = 0$ den 15. febr., idet maks. lufttemperatur i alminnelighet opptrer omkring 20. juli og min. omkring 20. januar.

Tidsforskyvningen $Z_{J\delta}$ varierer heller ikke så meget at det har nevneverdig innflytelse på beregningen av Q .

For beregning av varmemengden Q som strømmer nedenfra opp mot dybde δ , må benyttes varmeledningstall for ikke frosset materiale.

En utregning av tallverdiene for Q for forsøkene 1939—40 er utført i tabell 23.

Z er satt = 0 den 15. febr. (i dybde δ).

Z_1 er satt den 1. des., d. v. s. 2½ måned før 15. februar. Dette tilsvarer en tidsvinkel $\varphi_1 = -75^\circ$ når året er 360° .

Z_2 er satt den 20. febr., hvilket svarer til $\varphi_2 = +5^\circ$ vinkel, se fig. 56. Cosinus- og sinusverdiene kan da tas ut av tabell for disse vinkler.

på grunn av at varmen fortrinsvis vil ha strømmet gjennom de felter (seller) hvor δ er størst eller utenom feltene, idet feltene var så små av flateinnhold.)

I middel utgjør den fra grunnen opadstrømmende varme Q' i henhold til siste rubrik i tab. 23 rundt 5,0 kcal/m²h.

Denne varmestømming vil helt eller delvis oppveies i sin innflytelse på teledyden av den avstrålte varme fra overflaten.

2. Jordens varmeutstråling.

Ved meteorologiske beregninger benyttes til bestemmelse av den effektive utstråling fra jordoverflaten mot klar himmel den av A. Ångström [3 og 4] på grunnlag av tallrike målinger oppstilte formel:

$$Q_a = 4,96 \left(\frac{T}{100} \right)^4 (0,255 + 0,322 \cdot 10^{-0,069 e}) \text{ kcal/m}^2 \text{ h.}$$

Her er temperaturen T i °K den absolutte temperatur av jordoverflaten, og e damptrykket i de

Tabell 23. Beregning av den oppadstrømmende varme ved forsøkene vinteren 1939—40 (fig. 51).

| Material | Antatt fukt. vol.pct. | $\gamma_r' \cdot c$ kcal/m ³ °C | λ kcal/mh °C | Q kcal/m ² | Q' kcal/m ² h |
|-------------------------|-----------------------|--|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Våt leire ca. | 40,6 | $\left. \begin{matrix} T = 321 \\ V = 406 \end{matrix} \right\} 727$ | 1,15 | 8 200 | 4,3 |
| Kvabbjord | 32,5 | $\left. \begin{matrix} 407 \\ 325 \end{matrix} \right\} 732$ | 1,75 | 10 200 | 5,3 |
| Fjell | 0 | 550 | 2,50 | 10 500 | 5,5 |
| Leire | 46,8 | $\left. \begin{matrix} 321 \\ 468 \end{matrix} \right\} 789$ | 1,42 | 9 500 | 5,0 |

T for Tørstoff —, V for Vanninnholdet.

Innsettes $B = \sqrt{\frac{\pi}{8760} \frac{(\gamma_r' \cdot c)}{\lambda}}$ i formelen for Q

fåes: $Q = A_\delta \sqrt{\frac{8760}{4\pi} \lambda (\gamma_r' \cdot c)} \left[\sin \varphi + \cos \varphi \right]$

$= 284 \sqrt{\gamma_r' \cdot c \cdot \lambda}$ For forsøkene 1939—40.

I tabell 23 er Q beregnet for det materiale som fantes under forsøksfeltene, d. v. s. våt leire. Dessuten også for de materialer som man må anta kan finnes nede i grunnen under veier hvor telehiving opptrer. Dette er helt fuktighetsmettet kvabb og leire og dessuten fjell (tørt, f. eks. under et tynnere lag av kvabb eller leire).

(Man kunne tenke seg at man som sammenligning kunne beregne Q på grunnlag av de observerte temperaturkurver nedenfor telen, på fig. 50 og 51. En slik sammenlignende beregning vil dog gi svært avvikende resultater for de forskjellige forsøksfelter

nederste luftlag i kg/m³. Utstrålingen fra jordoverflaten er regnet som svart stråling. Dette er særlig berettiget når jorden er dekket med sne som etter Falchenberg [5] emitterer mer enn 99,5 % av strålingen fra en svart flate. Overflatetemperaturen settes etter Devik [6] lik lufttemperaturen T_L .

Formelen gjelder bare for klar himmel. Er himmelen overskyet, blir utstrålingen Q_a nedsatt, avhengig av skymengden ($N = 0 - 10$) og av skyenes høyde og tetthet. Strålingen Q_a reduseres gjennom skymengden N til $Q_N = (1 - 0,09 N) Q_a$.

Da damptrykket e bare viser forholdsvis liten variasjon i temperaturområdet mellom 0° og 20° , kan for overslagsberegninger formelen for utstrålingen Q_N forenkles til uttrykket $Q_N = 115 (1 - 0,09 N) \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ [6].

Ved hjelp av denne formel ble den effektivt utstrålte varmemengde beregnet på grunnlag av middelverdien av de meteorologiske observasjoner ang. skymengden (N), kl. 19 og kl. 7. De beregnede verdier er inntegnet i diagrammene fig. 50 og 51.

Fig. 50 (vinteren 1938—39) viser i fire tidspunkter, nemlig 7.—21. des., 30. des. til 5. jan., 21.—23. febr. og 20.—30. mars, flere dager i trekk klar, skyfri himmel i forbindelse med frost. I alle tilfelle har telekurven (null-isotermen) et særlig bratt forløp, idet frostens virkning understøttes av varmetstrålingen. I desember synes målingene å tyde på at jordoverflaten som følge av varmetstrålingen allerede fryser før luftens middeltemperatur har under-skredet 0°C .

På samme måte viser i vinteren 1939—40 (fig. 51) seg en sammenheng mellom varmetstråling og telekurvens forløp ved telens begynnelse i desember 1939 og i midten av januar. Også for den sammenhengende klarværsperiode fra 26. jan. til 5. febr. viser seg en økning av teledybden, dog med større faseforskyvning, da telegrensen allerede ligger meget dypt. Temperatursenkningen ved jordoverflaten er betydelig og visstnok større enn den som begrunnes av frostmengden alene.

Middelverdien av den natlige varmetstråling beregner seg for Trondheim vinteren 1938—39 (17. des.—31. mars = 105 dager) til $Q_N = 55,4 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ og for vinteren 1939—40 (25. nov.—29. febr. = 97 døgn) til $Q_N = 55,8 \text{ kcal/m}^2\text{h}$.

Regner man at denne utstråling finner sted i halvdelen av døgnet, er den utstrålte varme under hele fryseperioden i middel ca. $28 \text{ kcal/m}^2\text{h}$. Den er altså over 5 ganger så stor som den fra grunnen mot teleskiktet oppadstigende varme.

Hvis virkningen av denne varmemengde skal tas med i beregningen av teledybden, må man ha kjennskap til varmeovergangstallene α fra overflaten til luften. Virkningen av varmetstrålingen Q_N (regnet for $\frac{1}{2}$ døgn) er nemlig ekvivalent med en senkning av lufttemperaturen på $t_s = Q_N/2\alpha^{\circ}\text{C}$. α er i klare og kolde netter som regel en meget liten verdi.

Den varme som utstråles, kommer i de fleste tilfelle bare *delvis* fra jorden, idet en vesentlig del tilføres jordoverflaten fra luften, når jord- (eller sne-) overflaten på grunn av avstrålingen innstiller seg på lavere temperatur enn luften. Dette er særlig tilfelle hvis jorden er dekket med sne, som er et meget godt isolerende materiale med liten varmekapasitet. Ved en snedekket flate bevirker således varmetstrålingen meget liten fryssing, mens den har sterkere innflytelse ved barfrost og materialer med lavt varmeledningstall.

Varmetstrålingens innflytelse kan tallmessig tas fullt omsyn til i de oppstilte formler [1, s. 21] ved at man til den av lufttemperaturkurven funne frostmengde F adderer en frostmengde F_s for stråling, der er beregnet som produkt av den ekvivalente temperatursenkning $Q_N/2\alpha$ og den totale tid.

IV. Zusammenfassung (in deutscher Sprache).

Der früher veröffentlichte erste Teil dieser Arbeit [1] enthält Laboratoriumsversuche zur Bestimmung des Wärmeleitvermögens von Massenaustauschstof-

fen im Eisenbahn- und Strassenbau, sowie eine theoretische Behandlung des Frostwiderstandes dieser Stoffe.

Die vorliegende Arbeit dient dazu einen Einblick zu gewinnen in die beim praktischen Gebrauch der Stoffe auftretenden Verhältnisse betreffs Wasseraufnahme und Frostwiderstand. Gleichzeitig sollte die [1, s. 21] aufgestellte Formel zur Vorausberechnung der Frostgrenze nachgeprüft werden.

Zu diesem Zwecke wurden auf der Ostseite des Laboratoriums Versuchsfelder von 1 m^2 Grundfläche und 1 m Tiefe für verschiedene einfache bzw. übereinander geschichtete Austauschstoffe angelegt. In diesen Feldern wurden in den Jahren 1938—41 thermoelektrische Messungen der Temperaturverteilung, sowie Bestimmungen des Wassereinhaltes vorgenommen.

Die Untersuchungen wurden durchgeführt für Grus aus Stjørdal A 10, Grus aus Verdal A 11, lehmhaltige Erde A 9, Torfstroh C 8, sowie für aufeinander geschichtete Massen von lehmhaltiger Erde über Grus (A 9—A 11) und Holzkohle über Moor (C 7—C 6) siehe Abb. 47.

Zur Messung der Stofftemperatur wurden in der Mitte jeden Feldes 10 Thermolemente untereinander in Tiefenabständen von 10 cm eingebaut und über einen Kupplungskasten (K in Abb. 47) mit einem im Laboratorium aufgestellten Millivoltmeter verbunden. Angaben über den Feuchtigkeitsschutz der Thermolementdrähte und andere Einzelheiten der Versuchseinrichtungen finden sich in Abschnitt 1. Abb. 49 zeigt ein neues von Ing. Kindem konstruiertes Quecksilber-Erdthermometer.

Die Ergebnisse der Temperaturmessungen in den Wintern 1938—39 und 1939—40 sind in den Abb. 50 und 51 in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt.

Die obersten Kurven der Abb. 50 und 51 geben Schneehöhe S und nächtliche Wärmeausstrahlung Q_N , die nächsten Kurven die mittlere Lufttemperatur t_L in $^{\circ}\text{C}$, sowie die aus dieser durch Integration abgeleitete Kurve der Frostmenge F in $h^{\circ}\text{C}$ und die Wurzel aus der Frostmenge \sqrt{F} .

Darstellungen für die untersuchten Stoffe zeigen für die angegebenen Messtage die gemessenen Stofftemperaturen abhängig von der Tiefe, sowie aus den Messwerten abgeleitete Isothermen abhängig von Zeit und Tiefe. Die Null-Isothermen, die die Frostgrenze kennzeichnen, sind stärker hervorgehoben.

Abb. 50 zeigt die Verhältnisse für einen Winter mit geringem Frost und wenig Schnee, Abb. 51 für einen Winter mit starkem Frost, der aber in seiner Wirkung auf die Erde durch reichliche Schneefälle gemildert wurde.

Die Felder mit einfachen Stoffen wurden im Winter 1939—40 soweit möglich frei von Schnee gehalten (mit Ausnahme einiger Wochen um die Jahreswende), während die übereinandergeschichteten Felder A 9—A 11 und C 7—C 6 mit Schnee bedeckt blieben.

Hieraus erklärt sich der Unterschied im Verlauf der Null-Isothermen in Abb. 51. Während bei den freiliegenden Feldern mit zunehmender Frostmenge F die Frostgrenze sich dauernd in grössere Tiefe verschiebt, erreicht sie bei den schneebedeckten Feldern ihre grösste Tiefe unmittelbar nach dem starken Schneefall im Januar. Später ist unter der Einwirkung der aus dem Grunde aufsteigenden Wärme sogar eine langsame Höherverlegung der Null-Isotherme zu beobachten.

Vergleicht man den beobachteten Verlauf der Frostgrenze in den nicht mit Schnee gedeckten Feldern mit der eingezeichneten Kurve \sqrt{F} , so zeigt sich eine gute Uebereinstimmung im Verlauf beider Kurven bei zunehmendem Frost. Hieraus geht deutlich hervor, dass es die aus der Lufttemperatur berechnete Frostmenge ist, die in erster Linie das Gefrieren des Bodens entscheidend bestimmt. Es dürfte daher als zulässig erscheinen, bei Vorausberechnung der Frostgrenze im Interesse einfacher Berechnung von anderen sekundären Einflüssen abzusehen. (Wie auch diese Einflüsse berücksichtigt werden können, wird später erörtert.)

Zahlentafeln 17 und 18 geben eine Uebersicht über die Veränderung des mittleren Wasserinhaltes der untersuchten Stoffe in der Versuchszeit (1937—41), in Gewichtsteilen des feuchten Stoffes (g/100 g) und in Raumteilen (kg/dm³). Abb. 52 und 53 zeigen die Veränderung des Wasserinhaltes über die Tiefe an bestimmten Versuchstagen.

Der zahlenmässige Vergleich zwischen der gemessenen und der aus der Formel berechneten Frosttiefe ist in den Zahlentafeln 19 und 20 durchgeführt und zeigt eine für praktische Bedürfnisse ausreichende Uebereinstimmung. (Bei mehreren Messungen sind die wirklichen Werte etwas grösser als die berechneten. Der Unterschied kann in der nicht berücksichtigten Einwirkung der Wärmeausstrahlung liegen.)

Eine entsprechende Vergleichsrechnung für einige beim Bau der Nordlandsbahn ausgeführte Messungen [2] zeigt ebenfalls befriedigende Uebereinstimmung zwischen Berechnung und Messung, trotzdem für die Stoffe keine direkten Bestimmungen der Wärmeleitfähigkeit und des Kältespeichervermögens vorlagen.

Das Ergebnis der Messungen steht in voller Uebereinstimmung mit den in [1] durchgeführten theoretischen Erwägungen.

Aus den Kurvenbildern 50, 51 und 55 ist zu ersehen, dass bei Stoffen mit hoher Wärmeleitfähigkeit der Frost um so rascher und tiefer in die Stoffe eindringt, je geringer der Wasserinhalt der Stoffe ist. Bei derartigen Stoffen, wie z. B. Grus (A 10, A 11) verschwindet auch der Bodenfrost bei Erhöhung der Lufttemperatur entsprechend schnell. Es ergeben sich also starke Schwingungen des Gefrierzustandes mit der Lufttemperatur.

Den grössten Widerstand gegen eindringenden Frost zeigen Stoffe von geringem Leitvermögen und grossem Wasserinhalt, vor allem nasser Moorboden.

Entsprechend dem langsamen Eindringen des Bodenfrostes erfolgt auch das Auftauen langsam, d.h. der Frostzustand hält sich verhältnismässig lange in der Erde. Als günstigste Kombination in Rücksicht auf die Tiefe des eindringenden Frostes ergibt sich die Anordnung von feuchten Massen als Unterlage unter Stoffen niedriger Wärmeleitfähigkeit (siehe z. B. C 7—C 6 Holzkohle-Moorboden in Abb. 50 und 51).

Im Anschluss an die im Abschnitt II mitgeteilten Versuchsergebnisse und die in III A durchgeführten Vergleichsrechnungen wurden in Abschnitt III B die bei Berechnung der Frostgrenze nicht berücksichtigten Einflüsse der vom Grunde aufwärts strömenden Erdwärme, sowie der nächtlichen Wärmeausstrahlung erörtert. Die beiden Einflüsse wirken einander entgegen. Es scheint aber, dass zahlenmässig die Wärmeausstrahlung, die den Frostangriff steigert, überwiegt. Während die aufsteigende Wärme nur etwa 5 kcal/m²h beträgt (Z. T. 23) berechnet sich für die beiden Versuchswinter die nächtliche Wärmeausstrahlung zu etwa 55 kcal/m²h. Auf den ganzen Tag verteilt, ist für Trondheim mit etwa 28 kcal/m²h zu rechnen. Der absolute Einfluss schwankt natürlich sehr stark, abhängig von der wechselnden Bewölkung des Himmels, s. oberstes Diagramm in Abb. 50, u. 51.

Um die Wirkung beider Einflüsse auf die Frosttiefe richtig mit einander vergleichen zu können, muss man darauf aufmerksam sein, dass die vom Grunde aufwärts strömende Erdwärme in vollem Betrag die Frosttiefe herabsetzt, während dies mit der ausgestrahlten Wärme nicht der Fall ist. Die Wärmeausstrahlung bewirkt nämlich im allgemeinen eine Senkung der Oberflächentemperatur unter die Temperatur der Luft, was zur Folge hat, dass ein wesentlicher Teil der ausgestrahlten Wärme durch Wärmeinströmung aus der Luft in die Oberfläche ausgeglichen wird. Diese Temperatursenkung und Wärmeinströmung ist somit u. a. abhängig von der Wärmeübergangszahl α zwischen Luft und Oberfläche. Wie im Abschnitt III erwähnt ist, kann die tatsächliche Wirkung der durchschnittlichen stündlichen Wärmeausstrahlung $Q_N/2$ in der Berechnung der Frosttiefe x berücksichtigt werden, ohne die Formeln (S.111) zu ändern, wenn man die Frostmenge F um den Betrag F_S gleich dem Produkt des Verhältnisses $Q_N/2\alpha$ und der gesamten Zeit ($Z_2 - Z_1$), erhöht.

V. Litteratur.

- [1] A. Watzinger, E. Kindem og B. Michelsen: Undersøkelser av masseutskiftningsmaterialer for vei- og jernbanebygging (Første del). Meddelelser fra Veidirektøren 1938, nr. 6 og særtrykk nr. 473. Tillegg: Forsøk med veidekker. Medd. fra Veidir. 1941, nr. 8.
- [2] Arne Eriksen: Bodenfrostbildung als Wärmetechnisches Problem. VI. Baltische Hydrologische Konferenz, Bericht 6 E (Norwegen), Berlin 1938.

- [3] Anders Ångström: „Recording nocturnal radiation”. Medd. Statens meteorol.-hydrograf. Anstalt Bd. 3, nr. 12, Stockholm 1927.
- [4] Anders Ångström: Effective radiation during the second international polar-year. Medd. Statens meteorol.-hydrograf. Anstalt, Stockholm 1936.

- [5] G. Falchenberg: Met. Z. 1918, s. 90.
- [6] Olaf Devik: Thermische und dynamische Bedingungen der Eisbildung in Wasserläufen, auf norwegische Verhältnisse angewandt. Geofysiske publikasjoner Vol. IX, nr. 1, Oslo 1931. (Inneholder utførlige litteraturhenvisninger.)

BRENSELFORSYNINGEN TIL GENERATORBILENE I SVERIGE

Innberetning til Statens Gassgenerator-nemnd fra sekretær L. F. Hestdalen som i tidsrommet 19—31 mars 1941 foretok en studiereise til Sverige for å studere brenselforsyningen til gengassbilene.

Under reisen fikk jeg verdifull bistand fra flere av tjenestemennene i Statens Bränselskommission: Ordförande Jägmästare *Lundh*, ingeniör *Jansson* og jägmästare *Gran*. Videre i Svensk Gengassbolag fra herr forstmästare *Hermansson* og herr kontorsjef *Hegerstedt*. Ingeniör *Hilding Bergström* i Jernkontoret og Kolningslaboratoriet ydet meg også verdifull assistanse og gav meg mange gode råd.

Driftsingeniör *Björck* i Bussbolaget Skure-Stockholm viste meg stor oppmerksomhet, idet han ofret en dag av sin kostbare tid til å vise meg Bussbolagets hypermoderne trekullframstilling i murede ovner noen mil utenfor Stockholm. Det var Sveriges fremste eksperter med sivilingeniör *Bergström* i spissen som hadde planlagt anlegget. Jeg må også få nevne den elskverdige mottagelsen jeg fikk av laboratorieingeniørene hos Hesselman Motor Corp. Aktiebolag — hvor jeg fikk en meget inngående leksjon i deres laboratorieundersøkelser vedrørende gengassen og spørsmål i forbindelse med den. Jeg hadde særlig interesse av deres vedundersøkelser. Til slutt må jeg få nevne kaptein Cassler, som meddelte meg en rekke interessante opplysninger fra sine undersøkelser vedrørende gengassbilene og deres skikkethet i militære forband.

Utenom de her nevnte, har en rekke privatpersoner samt disponent *Meidel* som jeg reiste sammen med, gitt meg gode råd.

Dette var tredje gang jeg besøkte Sverige vedrørende studium i gengass-spørsmål, og det virket derfor imponerende å se den utvikling og de framskritt svenskene har nådd i løpet av 1½ år. Trafikken i Stockholms gater gikk som normalt i fredstid — bare med den forskjell at nå var bensindrevne biler like så sjeldne som gassgenerator-drevne i 1938.

For et år siden anså en det som utelukket å kunne drive mindre personbiler økonomisk med gengass. I dag er det en fryd for en gengassentusiast å se hvor lekende lett Opel Olympia, Opel

Kadet, Ford Junior, D. K. W., og til og med motorsykler tok seg fram på kolgass.

Når en på forhånd visste at Sverige hadde ca. 40 000 gengassbiler, og at flertallet av disse går på trekull, var det naturlig at en var innstillet på at også Sverige hadde sine vanskeligheter å kjempe med når det gjaldt brenselforsyningen til disse biler. Jeg hadde ikke vært lenge i Stockholm før jeg hadde konstatert at det var så rikelig tilgang på brensel at det i hvert fall for bilkullenes vedkommende måtte betegnes som overproduksjon av trekull. Noe anderledes forholdt det seg med bilveden hvor det til sine tider hadde vært vanskelig med tørr ved. I dag er det tørreanleggenes kapasitet det skorter på også i Sverige, men samtidig arbeides det intenst for å finne fram til billigere tørremetoder.

Da det her hjemme er trekullproduksjonen det avgjørt er vanskeligst med, skal jeg ganske kort søke å belyse nærmere hvilke veier Sverige har fulgt for å tilfredsstille behovet av bilkull.

For å få et inntrykk av Sveriges trekullindustri før gengassbilene kom, skal jeg få gjengi følgende tabell:

Jernbrukenes behov for trekull i Sverige.

| | | |
|-----------|-------|-----------------------|
| 1901—1905 | | 44,3 mill. hl pr. år. |
| 1906—1910 | | 41,4 —»— |
| 1911—1915 | | 41,9 —»— |
| 1916—1920 | | 38,5 —»— |
| 1921—1925 | | 19,7 —»— |
| 1926—1930 | | 19,1 —»— |
| 1931—1935 | | 12,9 —»— |
| 1936 | | 16,8 —»— |
| 1937 | | 19,3 —»— |

Det er vel å anta at jernbrukenes behov for trekull i 1940 ligger mellom 20 og 25 mill. hl. Det vesentligste av denne produksjon er framstillet ved brenning i jordmiler. Denne svenske trekullindustri har rike tradisjoner i svensk skogbruk — og dens røtter går like dypt i svensk arbeidsliv og industri som selve jernverkene.

Sverige har idag ca. 25 000 trekullbiler, og disse krever rundt regnet 20 mill. hl trekull, eller omtrent samme kvantum som jernverkene når en regner med avfallet som oppstår ved knusingen.

Det burde vært helt naturlig for Sverige å dekke det nye behov for trekull ved en utvidelse og rasjonalisering av milebrenningen. Men når dette bare i liten utstrekning var tilfelle i begynnelsen av 1940, har det selvsagt sine bestemte årsaker.

Ved en rasjonell organisasjon hadde det vært mulig for svenskene ved milebrenning å tilfredsstille så vel jernbrukenes som trekullbilens behov. Ikke alle som sysler med fremstilling av trekull behøver nemlig å være kolningsekspertter. Rasjonelt drevet kan en milebrenner med 15—20 medhjelpere produsere like meget trekull som hvis alle var utlærte milebrennere. Noen utpreget mangel på fagfolk behøvde det altså ikke bli fordi om milebrenningen ble utvidet.

Sverige har imidlertid ikke fulgt denne linje, men har isteden investert 5 à 6 mill. kroner i murede ovner. Disse 2000—2500 murede ovner produserer pr. år ca. 15 mill. hl bilkull.

Det er naturligvis flere grunner til at Sverige har gått denne vei, men de to hovedgrunner er disse:

1. Ovnene gir absolutt rene kull.
2. Brenningen kan drives kontinuerlig året rundt.

Ved milebrenning rundt om i de store skoger, viser det seg meget vanskelig — for ikke å si økonomisk ugjennomførilig — å oppbevare trekullene i all slags vær, slik at de er tørre nok når de skal brukes.

Forsøk er gjort for å tørre trekull, men på grunn av den gassdannelse som oppstår under tørringen, blir det så brannfarlig at de har forlatt denne linje.

Jeg finner det unødvendig å gå nærmere inn på murede ovner da det allerede er kjent at disse er enkle å bygge, lette å skjøtte og gir så vel tilfredsstillende kvantitet som kvalitet av trekull.

Da jeg er av den oppfatning at vi må følge den samme linje som svenskene når det gjelder produksjon av bilkull, innledet jeg forhandlinger med Statens Bränslkommission om å få overta deres type-tegninger av murede ovner, nemlig:

1. Tegning til retortanlegg.
2. —»— 100 m³ muret ovn.
3. —»— 40 » —»—
4. —»— 28 » —»—
5. —»— 15 » —»—

Bränslkommissionens ordfører samtykket i at Statens Gassgeneratornemnd får overta originaltegninger til selvkostende. Det skulle også innebære retten til kopiering og bygging av ovner uten lisensavgift.

I de siste måneder er det begynt å bli en del interesse for retortanlegg i Sverige. Dette beror særlig på den oppståtte brist på tjære og terpentin. Disse anlegg er nemlig så dyre å bygge at de bare under ekstraordinære forhold viser seg regningsvarende under våre breddegrader.

Det må derfor bli vårt behov for tjære og terpentin som avgjør hvorvidt Staten skal oppmuntre og eventuelt støtte slike anlegg. Jeg mener derfor at denne sak nærmest sorterer under Industrikontoret.

Jeg har vært og er av den oppfatning at trekull-situasjonen i vår og utover sommeren vil bli prekær hvis ikke ekstraordinære åtgjerder blir tatt. Jeg hadde derfor dette forhold spesielt for øye under mitt opphold i Sverige og jeg satte meg som mål å finne en løsning.

Etter noen dagers opphold kom jeg til følgende slutning:

Staten må stille til rådighet tilstrekkelig tørt virke til trekullbrenning og vi måtte forsøke «å låne» 12 erfarne milebrennere fra Sverige.

Under mitt forsøk på å realisere denne plan, nevnte jägermästare *Lundh* under en samtale at det burde gå an at Sverige hjalp oss i dette knipe-tak og lånte oss de nødvendige trekull til vi fikk reist vår egen industri.

Dette var nok en plan som tidligere hadde streift meg, men som jeg hadde ansett for utelukket å få realisert. Jeg grep da selvfølgelig det nye forslag og arbeidet med denne sak så lenge jeg var i Sverige.

Da det var Svensk Gengassbolag som hadde kullene, førte jeg de videre samtaler med lederen i brenselsavdelingen, herr forstmästare *Hermanson*. Gengassbolaget var stemt for å kunne avgjøre denne sak som en kontant handel, men det krevet da lisens for utførsel fra Bränslkommissionen, hvilket denne på daværende tidspunkt var uvillig til å gi, idet de hevdet at jernbrukenes behov for sommeren ennå ikke var sikret.

Jeg førte samtalene til det resultat at Svensk Gengassbolag fremmet forslag til Folkforsörjningsdepartementet om å garantere bolaget mot tap for overføring av 25 000 hl bilkull som lån til den norske stat. Hermed falt min idé om «lån» av 12 milebrennere bort.

Det er å anta at vårt behov for bilkull i de nærmeste måneder vil bli på ca. 100 000 hl pr. måned. Dette behov vil kunne tilfredsstilles med ca. 175 murede ovner.

Når vi vet at Sverige har satt opp over 2000 ovner i løpet av ett år, bør vi kunne løse den oppgave å tilfredsstille vårt relativt beskjedne behov og betale tilbake Sverige de eventuelle 25 000 hl trekull i løpet av sommeren.

Med den prispolitikk som føres for bilbrenslets vedkommende kan saken løses ved at Staten stiller det nødvendige råvirke til disposisjon og ved agitasjon og opplysning.

Bilved. Etter de samtaler jeg hadde med en rekke sakkynndige på bilvedens område og etter det jeg hadde anledning til å studere, er jeg kommet til den slutning at her har vi lite å lære av svenskene. Jeg noterte allikevel med interesse at ren björk sto meget høyt i kurs som bilved.

Det vanskeligste spørsmål var å kunne skaffe nok tørr ved — den samme vanskelighet som vi selv har.

Den tørremetode jeg hadde inntrykk av at svenskene søkte å konsentrere seg om ved sine studier og forsøk, var benyttelsen av røkgass. Det mest interessante på dette område var oppfinnelsen av en roterende tørker hvor en benyttet røkgass med en temperatur på 350° som varmekilde.

Men som nevnt, jeg tror ikke de var kommet særlig lenger på bilvedens område enn oss, hverken når det gjaldt maskiner eller metoder til tørringen.

Et forhold jeg søkte å få full klarhet over var hvilken metode de brukte for å bestemme fuktigheten i veden.

Svensk Gengassbolag brukte meget et pulver som var oppfunnet av direktøren for Ingenjörtekniska Byrån, hvormed en kan bestemme om veden holder mer enn 20 % fuktighet eller med et annet pulver mer enn 25 % fuktighet. Jeg kjøpte 2 tuber av hver sort.

Til mer nøyaktige undersøkelser hadde Gengassbolaget anskaffet en elektrisk fuktighetsmåler av Siemens fabrikk, men da dette er meget dyrt vil det neppe få noen stor utbredelse. Dessuten kan det ikke sies å bestemme fuktigheten helt eksakt da det bygger på motstandsprinsippet.

Hoss *Hesselman Motor Corp.* hadde jeg derimot anledning til å stifte bekjentskap med en fuktighetsmåler som var meget tiltalende. Denne metode grunner seg på xylols evne til å binde samtlige destilata unntatt vann ved destillasjon av ved. Apparatet består i hovedsaken av en glasskolbe, et målerglass samt en kjøler som forbindes med trykkvann.

På laboratoriet deltok jeg i en fuktighetsbestemmelse som varte ca. 20 min. Apparatet med 1 liter xylol (som kan brukes uendelig mange ganger før den mettes) kom på ca. kr. 50,—. Jeg kjøpte med hjem et slikt apparat, idet jeg er av den oppfatning at dette er meget billig og bestemmer fuktigheten helt eksakt, så det burde kunne få en stor utbredelse blant de som sysler med kjøp og salg av ved.

Litteratur.

Av litteratur forsøkte jeg også å få med det siste på området. Jeg gjengir her en fortegnelse over det jeg fikk med:

1. Kolning i ugn. Forf. *Bergström*. Utkom november 1940.
2. Kolning i Mile. Skorstensmilor. Forf. *Bergström*. Utkom desember 1940.
3. Skorstensmilor. Forf. *Bergström*. Utkom desember 1939.
4. Framställning av Träkol för gengassdrift. Forf. *Bergström*. Utkom høsten 1940.
5. Lärokurs för Gengassmontörer.
6. Lärokurs för Gengassförere. — N. K. I. og Gengassbyråns brevscole.
7. Gengassverket och dess skötsel. Forf. L. *Sassler* m. fl.
8. Meddelanden från Statens Maskinprovningar. Uppsala.
9. Kolningslaboratoriet. List of Publications.
10. Abonnement på månedsskriftet: Gengass — från Gengassbyrån.
11. En rekke sirkulærer og meddelelser fra Statens Bränslekommission.
12. Tekniska Meddelanden. Järnkotoret 1940.
13. Ymse brosjyrer — reklamestoff.

*

Når jeg oppsummerer mine inntrykk fra Sverige og ser summen i relasjon til vår egen gengassdrift, skal jeg tillate meg å anføre følgende:

Vi har så umåtelig mye å lære av svenskene når det gjelder gengassdrift hvor det viser at det er satt virkelig i system så vel i teori som i praksis.

Følgende bør opptas til overveielse:

1. Ansettelse av en varmeingeniør i brenselavdelingen til å ta seg spesielt av tørreanleggene m. v.
2. Sikring av nok tørr ved til trekullbrenning inntil høsten.
3. Henstille til Forsyningsdepartementets Industrikontor å løse spørsmålet om forsyninger av tjære og terpentiner m. m. ved å stimulere anlegg av retorter hvor trekull fås som biprodukt.
4. I samband med den praktiske opplæring av gengassfolk også søke å gi teoretisk undervisning f. eks. ved et samarbeid med Norsk Korrespondanseskole.
5. Å få spredt kjennskap til fuktighetsberegninger av bilved ved bruk av xylol. Eventuelt forhandle med et firma om å overta fabrikkasjon og salg av dette.
6. Gjøre en kjemisk fabrikk kjent med pulveret til Ingenjörtekniska Byrån.
7. Utgivelse av mer opplysnings- og propagandastoff — f. eks. oversettelse av svensk stoff.

FREMSTILLING AV GENERATORKNOTT

er blitt en stor industri ut over landet. Man skal ikke reise langt hen ad en vei, før man ser en knottfabrikk med opplag av ved — med kapp-sager, knottkløvere, tørkeanlegg og forskjellige transportinnretninger.

Det hele er nytt og anleggene er gjennomgående sterkt preget av eksperimentering. Linjene har ennå ikke festnet seg. En betydelig interesse og

være hensiktsmessig og solid konstruert. Knotten kommer ut i passende store biter og den uundgåelige mengde av flis er av et meget rimelig omfang.

Kapasiteten er meget betydelig, opp til 40—50 hl i timen, og kraftforbruket er bare 3—4 hk.

Maskinen egner seg også meget godt for knusing av trekull.

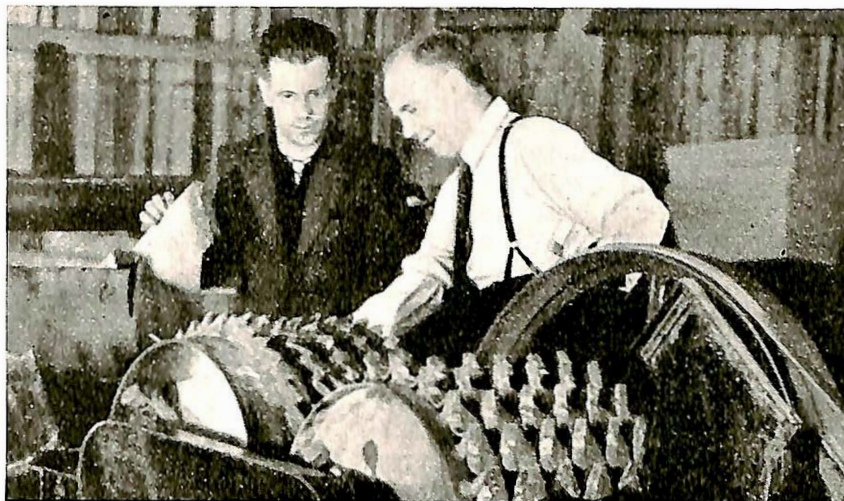


Fig. 1. Engeseths knottkløver.

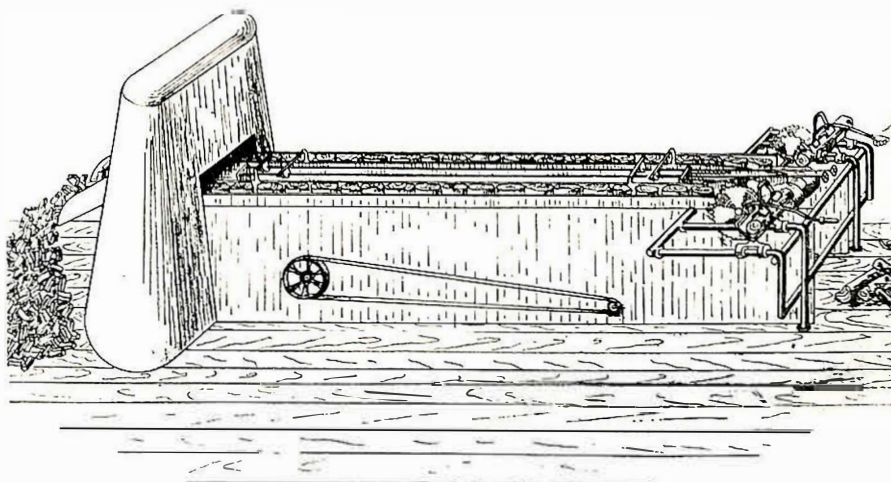


Fig. 2. Spjelkaviks knottkløver.

arbeidskraft er imidlertid satt inn på å gjøre disse anlegg så hensiktssvarende og rasjonelle som mulig.

Vi bringer i dag bilder og en kort beskrivelse av et par nye knottkløvere som ser særlig lovende ut.

Kløverknekten (fig. 1) er konstruert og uteksperimentert av direktør Peder Engeseth, Hønefoss, og diplomingenør Tore Helset, Forsyningsdepartementet.

Veden blir etter at den er saget opp i passende tykke skiver, ført inn mellom to roterende tromler som er forsynt med kniver. Maskinen synes å

Rutebileier A. H. Spjelkaviks knottkløver er vist i fig. 2. Den mates med vedstranger på samme måte som kornet kommer inn i en treskemaskin. Skivene faller ned på et transportbånd og føres inn under en kløver.

Kapasiteten er ca. 100 hl knott pr. arbeidsdag for enkelt utførelse. For den i figuren viste dobbelte utførelse får man ca. 200 hl pr. dag. Kraftbehovet ca. 5 hk.

Maskinen skal ha gitt meget gode resultater i praksis.

A. R.

VEILENGDER I NORGE (I KM) PR. 30. JUNI 1941

| Fylke | Riksveier | | Fylkesveier | | Sum Hovedveier | | Bygdeveier | | Totalsum 1941 | Totalsum 1940 | Tilvekst |
|---------------------|-----------|------|-------------|------|----------------|------|------------|------|---------------|---------------|----------|
| | km | % | km | % | km | % | km | % | km | km | km |
| Østfold | 559,5 | 28,2 | 317,4 | 16,0 | 876,9 | 44,2 | 1 106,3 | 55,8 | 1 983,2 | 1 981,1 | 2,1 |
| Akershus..... | 680,4 | 26,9 | 132,5 | 5,3 | 812,9 | 32,2 | 1 714,1 | 67,8 | 2 527,0 | 2 466,1 | 60,9 |
| Hedmark | 1 274,3 | 32,3 | 241,0 | 6,1 | 1 515,3 | 38,4 | 2 434,0 | 61,6 | 3 949,3 | 3 922,0 | 27,3 |
| Opland | 1 247,1 | 46,3 | 172,9 | 6,4 | 1 420,0 | 52,7 | 1 274,5 | 47,3 | 2 694,5 | 2 693,4 | 1,1 |
| Buskerud | 847,0 | 43,4 | 159,0 | 8,2 | 1 006,0 | 51,6 | 943,0 | 48,4 | 1 949,0 | 1 943,0 | 6,0 |
| Vestfold | 416,5 | 32,0 | 334,1 | 25,7 | 750,6 | 57,7 | 551,2 | 42,3 | 1 301,8 | 1 293,3 | 8,5 |
| Telemark | 858,5 | 38,2 | 225,2 | 10,0 | 1 083,7 | 48,2 | 1 164,3 | 51,8 | 2 248,0 | 2 191,4 | 56,6 |
| Aust-Agder..... | 645,9 | 36,3 | 226,8 | 12,8 | 872,7 | 49,1 | 904,8 | 50,9 | 1 777,5 | 1 767,9 | 9,6 |
| Vest-Agder | 515,7 | 22,9 | 614,0 | 27,3 | 1 129,7 | 50,2 | 1 121,8 | 49,8 | 2 251,5 | 2 236,5 | 15,0 |
| Rogaland | 673,8 | 27,1 | 212,9 | 8,5 | 886,7 | 35,6 | 1 603,9 | 64,4 | 2 490,6 | 2 453,2 | 37,4 |
| Hordaland | 783,2 | 28,5 | 376,6 | 13,7 | 1 159,8 | 42,2 | 1 584,7 | 57,8 | 2 744,5 | 2 743,0 | 1,5 |
| Sogn og Fjordane . | 780,0 | 35,5 | 214,2 | 9,8 | 994,2 | 45,3 | 1 201,4 | 54,7 | 2 195,6 | 2 163,7 | 31,9 |
| Møre og Romsdal.. | 978,8 | 26,4 | 480,2 | 12,9 | 1 459,0 | 39,3 | 2 250,2 | 60,7 | 3 709,2 | 3 709,1 | 0,1 |
| Sør-Trøndelag | 729,2 | 31,0 | 196,8 | 8,4 | 926,0 | 39,4 | 1 425,7 | 60,6 | 2 351,7 | 2 351,7 | 0,0 |
| Nord-Trøndelag ... | 1 017,9 | 34,1 | 126,3 | 4,2 | 1 144,2 | 38,3 | 1 843,0 | 61,7 | 2 987,2 | 2 987,2 | 0,0 |
| Nordland | 1 154,8 | 42,0 | 603,1 | 22,0 | 1 757,9 | 64,0 | 986,9 | 36,0 | 2 744,8 | 2 718,7 | 26,1 |
| Troms | 799,4 | 47,9 | 242,7 | 14,5 | 1 042,1 | 62,4 | 628,4 | 37,6 | 1 670,5 | 1 667,8 | 2,7 |
| Finnmark | 1 036,1 | 69,1 | 289,3 | 19,3 | 1 325,4 | 88,4 | 174,5 | 11,6 | 1 499,9 | 1 308,5 | 191,4 |
| Sum 1941 | 14 998,1 | 34,8 | 5165,0 | 12,0 | 20 163,1 | 46,8 | 22 912,7 | 53,2 | 43 075,8 | 42 597,6 | 478,2 |
| „ 1940 | 14 695,4 | 34,5 | 5134,5 | 12,1 | 19 829,9 | 46,6 | 22 767,7 | 53,4 | 42 597,6 | — | 503,5 |
| „ 1939 | 14 481,2 | 34,4 | 4956,9 | 11,8 | 19 438,1 | 46,2 | 22 656,0 | 53,8 | 42 094,1 | — | 798,7 |
| „ 1938 | 14 030,2 | 33,9 | 4784,9 | 11,7 | 18 815,1 | 45,6 | 22 480,3 | 54,4 | 41 295,4 | — | 605,8 |
| „ 1937 | 13 916,7 | 34,2 | 4582,7 | 11,3 | 18 499,4 | 45,5 | 22 199,2 | 54,5 | 40 698,6 | — | 509,1 |

PERSONALIA

Overingeniør E. Aarskog, sjef for veidirektoratets brukontor, har fått ett års permisjon for å overta stillingen som adm. direktør for Alfr. Andersens mek. verksted og støperi A/S, Larvik.

Under hr. Aarskogs permisjon er midlertidig konstituert som overingeniør avdelingsingeniør R. Ingebrigtsen, som avdelingsingeniør av klasse A ingeniør Olav Torp, og ingeniørene Karl Olsen og Torleif Enger som avdelingsingeniører av klasse B ved brukontoret.

Enn videre er konstituert som avdelingsingeniører av klasse B: G. A. Frøholm og Sigurd Loven i Hordaland fylke. Torleiv Schiefloe i Sogn og Fjordane fylke. Arne Tronstad i Sør-Trøndelag fylke.

Som assistentingeniører er konstituert:

Hans Aase i Vest-Agder fylke. Ole Hetde i Nordland fylke. Eilif Os i Troms fylke. Gunnar Birkeland og Knud Engelbreth ved Veidirektoratet.

Som distriktskasserer ved Østerdal veiavdeling i Hedmark fylke er konstituert kontorist Alf Hektoen.

Alfred Bjorkli og Rolf Heggeli er konstituert som tekniske assistenter i Finnmark fylke.

Som kontorister av klasse I er konstituert:

Egil Hole ved Kongsvinger avdeling i Hedmark fylke. Steffen Aavitsland i Vest-Agder fylke.

Som kontorister av klasse II er konstituert: Olaf Sørensen i Buskerud fylke og Odd Grøntli i Nord-Trøndelag fylke.

Ved Veidirektoratet er konstituert følgende assistenter av kl. II: Anna Sophie Moe, Walter F. Johansen, Roald Dahl, Ingar Hansen og Ragna Berrum.

Følgende er konstituert som oppsynsmenn: Oluf Svendsen i Østfold fylke. Rolf Nordby i Akershus fylke. Knut Mo og Gudbrand Rognerud i Opland fylke. Joh P. Øverås og Lars Heggen i Møre og Romsdal fylke.

UTGITT AV TEKNISK UKEBLAD, OSLO

Abonnementspris: kr. 10,00 pr. år. — Annonsepris: 1/1 side kr. 80,00, 1/2 side kr. 40,00.

1/4 side kr. 20,00.

Ekspedisjon: Ingeniørenes Hus. Telefoner: 20093, 23465.