

# MEDDELELSER FRA VEIDIREKTØREN

NR. 6

Undersøkelser av masseutskiftningsarbeider for vei- og jernbanebygning. — Norsk og amerikansk leire. — Veienes kurvatur. — Rettsavgjørelser. — Mindre meddelelser. — Overingeniør Riis tar avskjed. — Overingeniør Barth tar avskjed. — Litteratur.

Juni 1938

## UNDERSØKELSER AV MASSEUTSKIFTNINGSMATERIALER FOR VEI- OG JERNBANEBYGNING

(Meddelelse fra Norges Tekniske Høiskoles Varmekraftlaboratorium.)

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

### Innholdsfortegnelse.

I. Masseutskiftning som middel mot telehiving	101
II. Eksperimentell og beregningsmessig bestemmelse av masseutskiftningsmaterialers fysiske egenskaper	102
A. Bestemmelse av varmeledningstall i tørr, fuktig og frossen tilstand	102
B. Bestemmelse av kornstørrelse, spesifikk vekt, rumvekt, hulromsprocent, adsorbsjonsvanninnhold og kapillaritet	103
III. Forsøksresultater.	
A. De undersøkte materialer	105
B. Forsøksobservasjoner og beregningsverdier ang. varmeledningstallet	106
1. Temperaturens innflytelse	108
a) Middelttemperaturens innflytelse	108
b) Innflytelse av temperaturdifferansen mellom varme- og kjøleplate	108
2. Vanninnholdets innflytelse	109
a) Forskyvning av vanninnholdet ved vanninnhold lavere enn adsorbsjonsmetning	110
b) Skiktdannelse ved overskridelse av materialets adsorbsjonsvanninnhold	112
C. Midlere varmeledningstall som funksjon av vanninnhold og tørrstoffvekt ved konstant middeltemperatur	113
D. Beregning av kuldemagasinere evne	117
IV. Bedømmelse av forsøksresultatene.	
A. Teoretisk behandling	117
1. Spesifikk frostledningsmotstand som materialkonstant	117
2. Frysemotstanden for et materiallag anvendt under masseutskiftning	118
B. Forsøksresultatene sett på bakgrunn av den teoretiske behandling	120
C. Sluttbemerkninger	120
V. Zusammenfassung (in deutscher Sprache)	121
VI. Litteratur	122

### 1. Masseutskiftning som middel mot telehiving.

Masseutskiftning i vei- og jernbanelegemer som middel til motarbeidelse av telehiving går ut på at telehivende masser graves ut og erstattes med egnede, ikke telehivende materialer av sådan beskaffenhet og sådan tykkelse at frosten ikke kan trenge ned og bevirke telehiving i den under liggende grunn. For å hindre telehiving i de over liggende materialer, kan utskiftningsmaterialet enn videre ha den oppgave å avskjære de over liggende materialmassers kapillære vannforbindelse med den under liggende grunn.

Dette siste betinger at materialet har en liten kapillær sugehøide [1] og [2]<sup>1)</sup>. Så vidt vites er dog bare den første metode anvendt her i landet.

Selve telehivingen er en prosess som optrer når fuktigheten i materialmasser av en bestemt fysisk karakter fryser til is. Man deler derfor materialene i de to grupper, telehivende og ikke telehivende. Hvorvidt et materiale er telehivende, er i første rekke avhengig av kornstørrelsen og av fuktigheten.

I nærværende beretning er dette punkt ikke behandlet, idet det henvises til de undersøkelser som foreligger annet steds. Alt som i det følgende er skrevet, omhandler utelukkende materialenes frysehastighet nedover, uansett om det vil opptre telehiving.

Et materiales motstand mot frostens gjennomtrengning er avhengig av hvilken evne det har til å samle op og magasinere i sig den kuldemengde som trenger ned i det ovenfra. Da kulden lar sig magasinere i størst mengde pr. m<sup>3</sup> ved frysing av vann, vil en økning av materialets vanninnhold bevirke sterkt økende kuldemagasinere evne. (Dog må ikke vanninnholdet overskride den metningsgrad hvor telehivingen inntreffer.) I samme retning virker også en økning av materialets spesifikke varme pr. rumenhet, d. v. s. en økning av rumvekten.

Materialets motstand mot frostens gjennomtrengning er enn videre avhengig av materialets varmeledningstall. Denne reduserer den nedtrengende kuldemengde. Materialets egen motstand utgjør imidlertid bare en del av den totale motstand ned til frostens nedadskridende front. Den totale motstand fremkommer som summen av varmeovergangsmotstanden mot luft, og av sneens og de over liggende frosne materialers varmeledningstall, foruten av motstanden av den til enhver tid frosne del av utskiftningsmaterialet. Ved en reduksjon av utskiftningsmaterialets varmeledningstall reduseres derfor ikke den nedtrengende kuldemengde i samme grad.

Fordringen til høi kuldemagasinere evne vil alltid motstride fordringen til lavt varmeledningstall, idet såvel varmeledningstallet som den kuldemagasinere evne øker med økende rumvekt og fuktighet. Et og samme materiale kan således ikke samtidig ha størst kuldemagasinere evne og lavest varmeledningstall, og man må derfor søke å finne det gunstigste kompromis for hvert materiale.

Stiller man f. eks. den absolutte fordring til masseutskiftningsmaterialet, at frosten ikke skal kunne trenge gjennom materialet, vil en høi kuldemagasinere evne være å foretrekke fremfor et lavt varmeledningstall. Kan man derimot tillate at en begrenset kuldemengde, som ikke er i stand til å bevirke skadelig telehiving, trenger ned i den under liggende grunn (som i sig selv kan ha stor varme-

<sup>1)</sup> Litteraturfortegnelsen s. 122.



magasinerende evne), vil et lavt varmeledningstall i utskiftningsmaterialet kanskje bli av størst betydning. Begge materialeegenskaper kan dog utnyttes samtidig ved å kombinere to lag forskjellige utskiftningsmaterialer, av hvilke det nedre bør ha høy kuldemagasinerende evne, og det øvre lavt varmeledningstall ved temperatur under frysepunktet. Eventuelt kan altså funksjonen av det nedre av de to lag overtas av den under liggende grunn.

I det forangående er sett bort fra den varme som strømmer op til fryseskiktet fra grunnen og som motvirker den fra overflaten nedtrengende kulde (d. v. s. til overflaten opoverstrømmende varme). Den kuldemengde som magasineres under frysningen, svarer til differansen mellom begge varmestrømmer. Varmetransporten fra grunnen er avhengig av grunnens og materialets varmeledningsevne ved temperaturer over  $0^{\circ}\text{C}$ , og da den opadstigende varmestrøm motvirker frostens nedtrengen, skulde altså for temperatur over  $0^{\circ}\text{C}$  høit varmeledningstall være gunstig.

Som tidligere nevnt fremkommer den kuldemagasinerende evne som en sum av to størrelser. Av disse er den ene (spes. varme ganger temperatursenkningen) avhengig av årets temperaturvariasjon, mens den annen (frysevarmen) er uavhengig av temperaturene. Av denne grunn må temperaturforløpet passende fastsettes før den kuldemagasinerende evne kan beregnes som et rent tall. Da imidlertid dette tall i almindelighet er meget lite avhengig av temperaturene, skulde det ikke være påkrevd å spesifisere tall for forskjellige temperaturantagelser.

Med hensyn til et materiallags frysemotstand, d. v. s. motstanden mot frostens gjennemtregning, så vil den i praksis generelt være omtrent proporsjonal med det således beregnede tall for den kuldemagasinerende evne — forutsatt konstant varmeledningstall.

På tilsvarende måte består det derimot ingen generell ren avhengighet mellom materialagets frysemotstand og den annen influerende størrelse, varmeledningstallet, idet som tidligere nevnt de over liggende lags varmeledningstall spiller inn.

Dette gjør at et materiales frysemotstand ikke kan angis ved et generelt tall, og forskjellige materialer kan derfor i denne henseende heller ikke generelt sammenlignes. En sammenligning vil bare kunne trekkes mellom forskjellige materialer når alle anvendelsesbetingelser som grunn, overliggende lag, sne o.s.v. er kjent.

Da telehivingen i et materiale er avhengig av så mange forskjellige av hverandre uavhengige ytre innflytelser, blandt hvilke fuktighetstilgangen til materialet og de forskjellige klimatiske betingelser (temperatur, snehøide, barfrost, vind, solbestråling) spiller en vesentlig rolle, kan en effektiv behandling av problemet ikke gjennomføres uten utstrakte forsøk i marken. For å kunne trekke noen lovmessighet ut av disse forsøk, trenges dog et fullstendig kjennskap til de benyttede materialers egenskaper, som bare kan bestemmes ved laboratoriemessige forsøk. Sådanne bestemmelser foreligger ang. den spesifikke varme av materialene og frysevarmen, derimot har forsøksmaterialet ang. masseutskiftningsmaterialenes varmeledningsevne, særlig i frossen tilstand, hittil vært meget ufullstendig, og likeså undersøkelser ang. materialenes vannopptagning og kapillaritet.

Det blev derfor efter initiativ av prof. Heje, med støtte av midler fra Norges Statsbaner og Statens veivesen, satt i gang laboratorieundersøkelser som skulde omfatte materialer som har vært anvendt eller som måtte tenkes å kunne finne anvendelse under masseutskiftning.

Undersøkelsene er foretatt ved Norges Tekniske Høiskoles Varmekraftlaboratorium. Målingene blev

påbegynt høsten 1933 av ing. Arne Eriksen, men er for den største del utført i tiden mai 1935 til april 1938 av ing. Bjørn Michelsen. Resultatet av målingene er meddelt i denne beretning (avsnitt III).

For så vidt mulig på det nærværende tidspunkt å gi en orientering til bedømmelsen av de undersøkte materialer på bakgrunn av de målte materialeegenskaper, er det i tilslutning til beretningen tilføid et teoretisk behandling av frostens forplantningshastighet ned gjennom jordoverflatens forskjellige materialag (avsnitt IV). Den under denne behandling funne særlig bestemte materialeegenskap, som vi har kalt den spesifikke frostledningsmotstand, er for de undersøkte materialer grafisk fremstilt.

## II. Eksperimentell og beregningsmessig bestemmelse av masseutskiftningsmaterialers fysiske egenskaper.

### A. Bestemmelse av varmeledningstall i tørr, fuktig og frossen tilstand.

Til bestemmelse av materialenes varmeledningstall benyttes et, av laboratorieingeniør E. Kjøndem konstruert elektrisk oppvarmet plateapparat, fig. 1. Avvikende fra de ved laboratoriet til undersøkelse av bygningsmaterialer benyttede apparater [3, side 6—9] er forsøksapparatet utført efter den såkalte enplatemetode, hvorved forsøksmaterialet ligger bare på den øvre side av varmeplaten. Dette er nødvendig idet temperaturen når masseutskiftningsmaterialene prøves med vesentlig vanninnhold, alltid må være

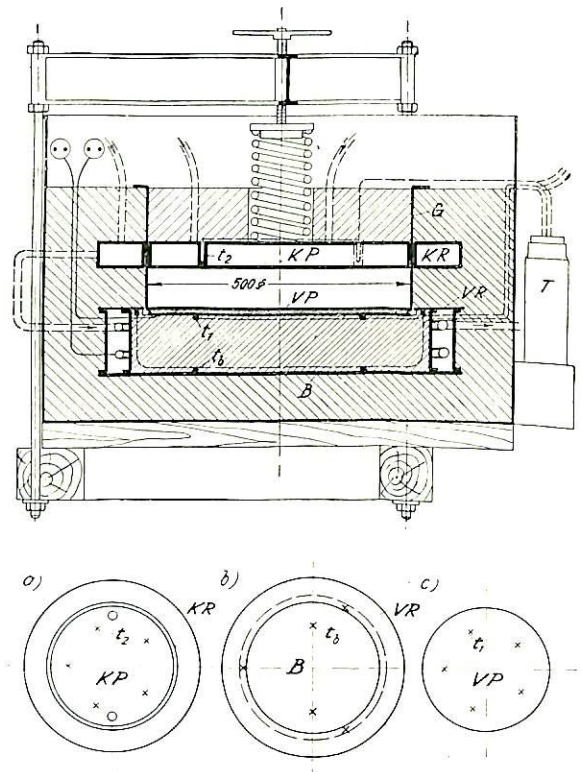


Fig. 1. Enplateapparat til bestemmelse av varmeledningstall for masseutskiftningsmaterialer i fuktig og frossen tilstand. VP elektrisk oppvarmet varmeplate. B og VR beskyttelseskar for varmeplaten. KP kjøleplate med hulrum gjennomstrømmet av vann eller kjølevæske. KR kjøleplatens beskyttelsesring. G cylindrisk vanntett gummikappe.  $t_1$ ,  $t_2$  og  $t_3$  temperatur ved varmeplate, kjøleplate og beskyttelseskar. (Målestedene, se sidefigur a til c). T termosflaske med termoelementenes nullpunkt i smeltende is.



lavest på forsøksmaterialets overside. Den sirkulære varmeplate VP. er langs omkretsen omspent av en vannrett tilsluttet cylindrisk gummikappe G, i hvilken massen ifylles til en bestemt høide. Kjøleplaten KP. anbringes over massen innenfor gummikappen, hvis kant rager op over kjøleplaten.

Varmeplaten består av en ca. 15 mm tykk kobberplate av 50 cm diameter. Platen oppvarmes ved hjelp av en elektrisk hetetråd, som ligger i et spiralformet utdreit spor i platens underside. Den parallelle varmestrøm gjennom massen fra varmeplaten til kjøleplaten er sikret ved beskyttelsesringer, beliggende utenfor gummikappen: i plan med kjøleplaten en kjølering KR., anbragt i samme høide som kjøleplaten KP., og i plan med varmeplaten en varmering VR., anbragt i samme høide som varmeplaten VP. Mellrummet mellom kjølering og varmering er utfyllt med kork.

For å hindre ethvert varmetap fra varmeplatens underside er varmeplaten nedentil dekket med 10 cm ekspanderende kork, og under korken er anbragt en tykk sirkelformet kobberplate, som ved to konzentriske cylindriske vegger er sammenbygd med varmeplatens beskyttelsesring VR. til et beskyttelseskar B. Beskyttelseskarer blir i sin helhet innregulert på varmeplatens temperatur. Utvendig er hele apparatet ytterligere beskyttet av ca. 10 cm kork.

Da den fuktige masse skal kunne prøves også i frossen tilstand, må beskyttelseskarer likesom varmeplaten kunne holdes på temperatur under  $0^{\circ}\text{C}$ .

For hurtig å kunne innregulere karet på en vilkårlig konstant temperatur, er i hulrummet mellom karetets dobbeltveggede cylindriske kappe fritt innlagt 2 over hverandre beliggende rør, av hvilke det nedre er elektrisk oppvarmet, det øvre avkjølt ved kjølevæske eller vann. Rørene står ikke i direkte kontakt med karetets kobbervegger, da karet i hele sin utstrekning må innreguleres på samme temperatur som varmeplaten. Varmeringene skjer gjennom luftrommet. Kjøleplaten KP., kjøleringen KR. og beskyttelseskarer kjølerør blir holdt på en felles konstant temperatur, idet de enten gjennomstrømmes av kjølevann, eller, ved lave temperaturer, av en kjølevæske fra et til apparatet anskaffet kullsyrekjøleanlegg. I begge tilfelle reguleres temperaturen ved termostat.

Under benyttelse av apparatet måles temperaturene for kjøleplate, varmeplate og beskyttelseskar. Temperaturen måles på hvert sted med en termosøile bestående av 10 seriekoblede kobber-konstantantermoelementer, fig. 1 a—c, med nullpunkter i smeltende is, og registreres fortløpende ved selvregistrerende millivoltmeter. Nøiaktige observasjonsverdier avleses ved presisjonsmillivoltmeter. Termosøilene er justert med en nøiaktighet på  $1/10^{\circ}\text{C}$ .

For absolutt å hindre fuktighetsinntrengen og dermed isolasjonsfeil på grunn av fuktighet, er termoelementene for hver søile innlagt i 5 tynne mesingrør, med 2 termoelementer i hvert rør. På kjøleplaten er rørene nedstøpt i kjøleplatens distansebolter, på varmeplaten er de innloddet i kobberklosser, som er fast tilskrudd på varmeplatens underside. Denne utførelse er også benyttet ved beskyttelseskarer, hvor 3 av kobberklossene er fastskrudd på beskyttelsesringens underside, de øvrige to på karetets bunn.

For stadig å kunne kontrollere at termosøilene viser riktig, kan det for hver søile avleses 5 termoelementer ad gangen, som må gi overensstemmende temperaturer.

Den elektriske varmetilførsel skjer ved vekselstrøm fra byens nett. Spenningen holdes konstant ved spenningsregulator [3, side 9—11] og strømmengden reguleres ved innskaltede formotstande.

Den elektriske effekt måles med presisjonswattmeter. Dette såvel som presisjonsmillivoltmetret er levert fra Siemens und Halske A/G.

Når apparatet er innregulert således at all til varmeplaten tilført elektrisk energi i form av varme tvinges til å strømme parallelt op gjennom fyllmassen til kjøleplaten, finnes fyllmassenes varmeledningstall på grunnlag av det målte elektriske wattforbruk og den målte temperaturdifferanse gjennom fyllmassene.

Under prøvene er fyllmassene belastet med vekten av den væskefylte kjøleplate, tilsvarende ca.  $220\text{ kg/m}^2$ . For å kunne sette fyllmassene under vesentlig høiere belastning, er apparatet videre forsynt med en innretning som ved en skrue tillater å frembringe en belastning på inntil  $5000\text{ kg/m}^2$ . Belastningen overføres gjennom en kraftig spiralfjær som ligger an mot kjøleplaten, og måles ved måling av fjærens sammentrykning.

Ved bestemmelse av varmeledningstallene legges materialet inn i forsøksapparatet med en høide så nær 10 cm som mulig. Det får for øvrig en form som en cylinder av 50 cm diameter.

#### B. Bestemmelse av kornstørrelse, spesifikk vekt, rumvekt, hulrumsprocent, adsorpsjonsvanninnhold og kapillaritet.

Til karakterisering av materialstykkens ytre form blev materialene fotografert (fig. 2—11). Videre blev kornstørrelsen, hvor materialene gjøre det mulig, bestemt ved siktning. Herved anvendtes et sett Tylorsikter (9 stk.) med trinvis forandring av de kvadratiske maskeåpningers sidelengde fra 0,147 til 38,15 mm. Kornstørrelsens vektsfordeling blev optegnet i siktekurver (*a* i fig. 12 til 17) avhengig av kornstørrelsen i mm. I disse viser ordinaten den samlede vekt av alle korn, hvis størrelse er mindre enn kornstørrelsen i abscissen. Siktekurvens differentialkurve (*b* i fig. 12 til 17) gir kornstørrelsens relative fordeling for bestemte størrelsesintervaller. Fig. 18 gir en sammenstilling av siktekurvene for flere forskjellige materialer avhengig av kornstørrelsen i logaritmisk skala.

Bestemmelsen av den spesifikke vekt  $\gamma$  i  $\text{kg/m}^3$  er utført ved veining av en finpulverisert og tørket prøve av materialet, hvis volum blev bestemt under vann i et pyknometer. For under volumbestemmelsen å få fjernet all luft fra materialet, blev pyknometret med sitt innhold av vann og materiale satt under vakuum (ved hjelp av vannstrålepumpe).

Rumvekten av det tørre materiale blev målt i varmeledningsapparatet, fig. 1, ved veining av de masser som blev lagt inn, samtidig som volumet av massene blev funnet ved måling av massenes tykkelse før og etter prøven. Herved stod massen under en belastning på  $220\text{ kg/m}^2$ .

Av de målte verdier av spesifikk vekt og rumvekt beregnes hulrumsprocenten *h*, som hulrummenes andel i ruminnholdet, idet

$$h = (1 - \gamma_r/\gamma) \cdot 100 \text{ vol.pct.}$$

Denne hulrumsprocent er den tenkelige maksimalverdi for materialenes vedkommende, og sammenettes av mellomrummene mellom de enkelte materialstykker, og av hulrummene (porene) i materialet selv. Ved tilsetning av vann vil som regel først porene i materialet gradvis bli fylt med vann, i den utstrekning som luften kan fortrennes fra disse, og så etter hvert mellomrummene mellom de enkelte materialstykker.

Vannopsugningsevnen er avhengig av materialenes faste stoff og struktur. Ved grovkornede stenmate-



## Gruppe A.



Fig. 2. Grus (A. 10) fra Stjørdal grustak, benyttet som ballast-grus.



Fig. 3. Kvabjord (A. 9), meget teleskytende materiale, bestående av leire, blandet med noe sand og grus (fra km 80.45 ved Nossan gård i Skogn, Norlandsbanen).



Fig. 4. Sand (A. 1), bestående av et helt heterogent, noe forvitret materiale. (Åsen herred, Nordlandsbanen, benyttet ved pel 2567).



Fig. 5. Kuppelstein (A. 2), glatte stein uten skarpe kanter (Sortrøndelag, Veivesenet).

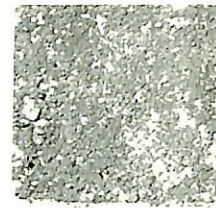


Fig. 6. Leire (A. 3), fint pulverisert.

## Gruppe B.



Fig. 7. Aske og Slagg (B. 4).

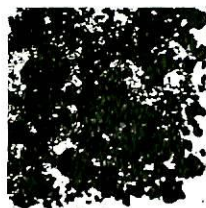


Fig. 8. Kullstubb (B. 5), askeinnhold 24,6 g/100 g. Brennverdi 6050kcal/kg.



Fig. 9. Myrmateriale (C. 6), opdelt i små stykker (Frol herred, Nordlandsbanen, benyttet ved pel 5633 til 35).

## Gruppe C.



Fig. 10. Trekkull (C. 7), brent i mile av gran og furu. Askeinnhold 2,6 g/100 g, brennverdi 8295 kcal/kg.



Fig. 11. Torvstrø (C. 8).

Fig. 2 til 11. Fotografier av de undersøkte materialer.

rialer er det faste stoff praktisk talt tett og hulrummene mellom materialkornene vil alltid i sin helhet fylles med vann. Er det faste stoff selv porøst, trenger vannopptagningen lengere tid, og det kan tenkes muligheten av at det, selv ved lang tids henstand, forblir enkelte avsperrede luftporer i materialstykkene som ikke fylles.

For tilnærmet å bestemme den virkelige maksimale vannopptagning ved disse materialer, blev den spesifikke vekt bestemt på vanlig måte i et pyknometer uten luftavsugning under vakuum. Av denne nye — mindre — verdi for den spesifikke vekt  $\gamma'$  beregnes en ny hulrumsprocent, idet  $h' = (1 - \gamma/\gamma') \cdot 100$  vol.pct.  $h'$  angir hvor meget vann materialet maksimalt kan opta og kalles den tilsynelatende hulrumsprocent (scheinbare Porosität).

Ved materialenes anvendelse til masseutskiftning sørger man for at grunnvannspeilet blir senket så meget at det ikke kan samle sig fritt vann i hulrummene mellom de enkelte materialstykker. Den vannmengde som materialet maksimalt kan holde fast, reduseres dermed til det vann som kan opuges av porene i materialstykkene og det vann som kan holdes fast på stykkenes overflate. Man betegner denne tilstand som adsorpsjonsmetning (Wasserhaltungsvermögen) [4 s. 14]. I forhold til hulrummets absolutte størrelse må denne vannmengde bli helt minimal for grovere stenmaterialer (kuppelstein og grovere grus), mens den f. eks. for torvstrø kommer meget nær hulrumsprocenten. For tilnærmet å bestemme adsorpsjonsmetningen eksperimentelt, blev en avveiet mengde av tørt materiale ifyllt en med sil avlukket glasscylinder og nedsenket i vann til materialet var blitt helt mettet med vann; glasscylinderen med materialet blev derpå tatt op og rystet kraftig, hvorefter den i ca. et døgn blev anbragt på et stativ i en lukket glassbeholder inntil alt overflødig vann var rent av. Den i materialet resterende fuktighet blev bestemt ved veining av det våte

materiale. Bestemmelsen er forholdsvis sikker ved grovkornet materiale, ved hvilket vannet meget hurtig drypper av, men er mindre pålitelig for finkornede og myrmaterialer, ved hvilke såvel vannopptagning som frigivelse av vann skjer meget langsomt.

Kapillariteten blev ved noen materialer bestemt såvel ved dr. Beskow's metode [2, side 133] og [5], som ved direkte måling av stighøiden. Den direkte måling foregikk ved å fylle materialet i en glasscylinder som var åpen i begge ender, hvorpå cylinderen blev anbragt vertikalt med den nedre ende neddykket i et kar med vann. Nivåforskjellen mellom vannstanden i glasscylinderen og i karet blev så avlest, efter at vannet i cylinderen var sluttet å stige.

Ved materialer som kan sammenpresses, som torvstrø og myrmaterialer, vil kapillariteten være avhengig av materialets belastning. Kapillariteten er derfor for disse materialer ved dr. Beskow's metode målt såvel uten belastning som ved en belastning på 700 kg/m<sup>2</sup>.

### III. Forsøksresultater.

#### A. De undersøkte materialer.

De undersøkte materialer kan sammenfattes i 3 grupper:

A. Anorganiske materialer: (spesifikk vekt ca. 1700 kg/m<sup>3</sup>) 10) Grus, 9) Kvabjord, 1) Sand, 2) Kuppelstein, 3) Leire.

Av disse er 10, 1 og 2 meget benyttede masseutskiftningsmaterialer. Leire og kvabjord er tatt med til sammenligning som materialer, der hyppig erstattes med utskiftningsmaterialer. For materialbetegnelse slg. [6].

B. Forbrenningsavfall: 4) Aske og slagg, 5) Kullstubb.

C. Materialer av organisk opprinnelse: (spes. vekt ca. 1500 kg/m<sup>3</sup>) 6) Myrmateriale, 7) Trekkull, 8) Torvstrø.



Fig. 2 til 18 gir i fotos og siktekurver en oversikt over materialenes struktur samt materialstykkenes form og fordeling.

De viktigste fysiske egenskaper er sammenstillet i tabell 1, hvorved materialene er ordnet etter avtagende rumvekt for tørt materiale.

Tabell 1. Fysiske egenskaper av de undersøkte materialer.

Gruppe.....	A					B		C		
Material nummer.....	10	9	1	2	3	4	5	6	7	8
Material .....	Grus	Kvabjerd	Sand	Kuppelstein	Leire	Aske og slag	Kullstubb	Myrmat.	Trekull	Torvstrø
Midl. kornstør. ...mm	1,8	—	0,7	28,6	—	1,8	1,75	—	12,8	—
Spes. vekt $\gamma$ ...kg/m <sup>3</sup>	2680	2770	2700	2780	2745	2630	1890	1580	1470	1430
Rumvekt av tørt mat. $\gamma_r$ <sup>1)</sup>										
før prøven ...kg/m <sup>3</sup>	1790	1630	1580	1550	1270	975	378	200	172	66 (86) <sup>2)</sup>
etter prøven ...kg/m <sup>3</sup>	1910	1850	1580	1550	1460	1250	378	200	172	66
Hulrums vol.pct. før prøven.....	33,2	41,0	41,5	44,2	53,7	63,0	80,0	87,3	88,3	95,4
etter prøven .....	28,7	32,5	41,5	44,2	46,8	52,5	80,0	87,3	88,3	95,4
Tilsynelatende hulrums vol.pct. ....	28,7	—	41,5	44,2	40,6	52,5	69,8	83,8	84,6	94,8
Adsorpsjonsvanninnhold ...vol.pct.	17,2	32,5	34,0	6,0	40,6	42,0	37,0	80,0	34,0	92,0
Kapillaritet efter Beskow .....	—	ca. 300	9,9	—	ca. 2500	38,0	—	—	—	—
Målt direkte .....	8,0	—	10,0	0	—	44,0	8,0	18,0 (26,0) <sup>3)</sup>	—	20,0 (22,0) <sup>3)</sup>
Spes. varme for tørrstoff $c_t$ ...kcal/kg °C	0,20	0,22	0,20	0,20	0,22	0,20	0,20	0,45	0,20	0,45
$c_t \cdot \gamma_r$ ...kcal/°Cm <sup>3</sup>	358	359	310	316	279	195	76	90	34	30

1) Belastning 220 kg/m<sup>2</sup>. 2) Målt ved belastning 1000 kg/m<sup>2</sup>. 3) Målt ved belastning 700 kg/m<sup>2</sup>.

Fig. 12 til 17. Kornstørrelsens vektfordeling, avhengig av kornstørrelsen i mm. a) Siktekurve: Ordinaten = samlede vekt av alle korn, hvis størrelse er mindre enn kornstørrelsen i abscissen. b) Kornstørrelsens relative fordeling for bestemte størrelsesintervaller (differentialkurve til a).

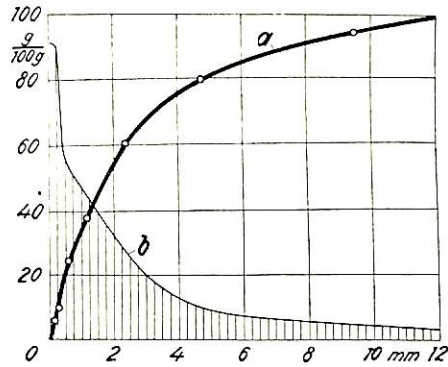


Fig. 12. Grus (A. 10).

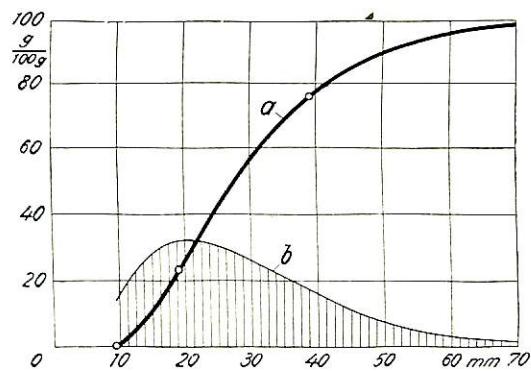


Fig. 14. Kuppelstein (A. 2).

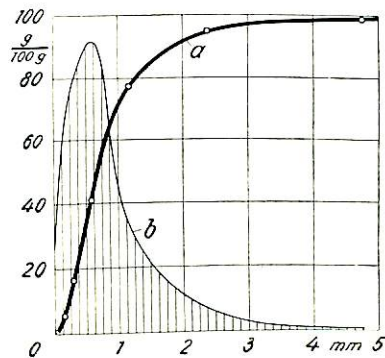


Fig. 13. Sand (A. 1).

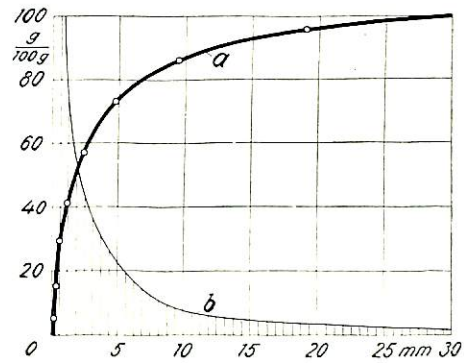


Fig. 15. Aske og slag (B. 4).







Fig. 19 til 28. Varmeledningstall avhengig av (a) middeltemperatur  $t_m$  og (b) vanninnhold  $f$ .

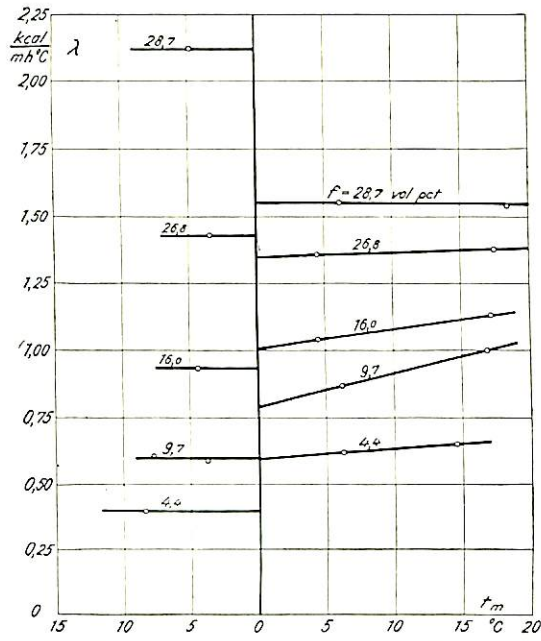


Fig. 19 a.

Fig. 19. Grus (A. 10).

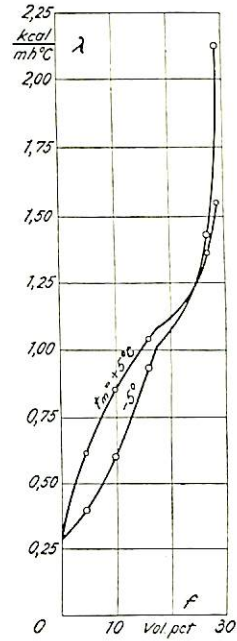


Fig 19 b.

Tabell 3. A. 9, Kvabjord. Spec. vekt  $\gamma = 2770 \text{ kg/m}^3$ .

Rumvekt  $\gamma_r$  for prøven 1630, etter prøven 1850  $\text{kg/m}^3$ . (slg. fig. 3).

Maks. vanninnhold  $f_m = 32,5 \text{ vol.pct}$ . Adsorbsjonsvanninnhold  $f_a \approx 32,5 \text{ vol.pct}$ .

Vanninnhold . . . . . vol.pct.	0				6,2				25,8			
Materialtykkelse før prøven mm	88				107				85			
Forsøksnr. . . . .	1	2	3	6	5	4	7	8	9			
Temperaturer:												
Varmeplate $t_1$ . . . . . °C	17,40	7,73	-1,60	28,80	10,23	-2,43	18,80	5,20	-3,60			
Kjøleplate $t_2$ . . . . . °C	9,75	0,30	-9,70	13,10	2,05	-9,25	11,75	1,15	-7,45			
Differans $\Delta t = t_1 - t_2$ . . . °C	7,65	7,43	8,10	15,70	8,18	6,82	7,05	4,05	3,85			
Middel $t_m = (t_1 + t_2)/2$ . . °C	13,58	4,02	-5,65	20,95	6,14	-5,84	15,28	3,18	-5,53			
Varmeledningstall .. kcal/mh °C	0,25	0,25	0,24	0,59	0,57	0,56	1,48	1,46	1,93			

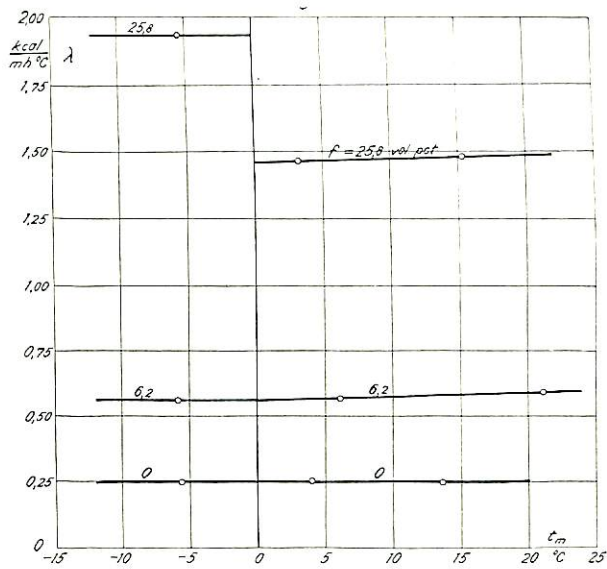


Fig. 20 a.

Fig. 20. Kvabjord (A. 9).

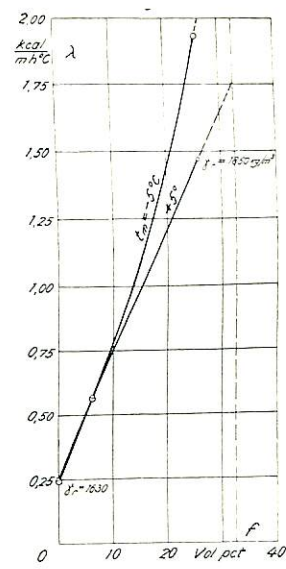


Fig. 20 b.



kcal/mh ° C. Forsøkene er ordnet etter økende vanninnhold og for hvert vanninnhold etter avtagende middeltemperatur. For kuppelstein, tabell 5, er for største vanninnhold, 44 vol.pct., dessuten foretatt en underdeling etter den midlere temperaturredifferanse  $\Delta t$ .

Som det fremgår av tabellene, er ved prøvning av det fuktige materiale temperaturfordelingen alltid innregulert således at såvel  $t_1$  som  $t_2$  er større enn 0 ° C, mens ved prøvning av frosset materiale begge temperaturer er mindre enn 0 ° C.

Ved samtlige materialer med undtagelse av sand og myrmaterialer, hvor en lekkasje i forsøksapparatet gjorde det umulig, og av kvabjerd er varmeledningstallene målt inntil maksimalt vanninnhold  $f_m$  tilsvarende materialets tilsynelatende hulrumsprocent.

Den grafiske fremstilling av forsøksobservasjonene, fig. 19 til 28, viser i fig. a varmeledningstallet som funksjon av middeltemperaturen  $t_m$ , i fig. b varmeledningstallet som funksjon av vanninnholdet  $f$ . I fig. a er inntegnet kurver for konstant vanninnhold  $f$ , i fig. b kurver for konstant middeltemperatur  $t_m$ . For kuppelstein, ved hvilken  $\lambda$  ved største fuktighet også er avhengig av temperaturredifferansen  $\Delta t$ , er ved  $f = 44$  vol.pct. angitt kurver for  $\Delta t$  og i fig. 22 c varmeledningstallet inntegnet avhengig av temperaturredifferansen.

1. Temperaturen innflytelse.

a) Middeltemperaturens innflytelse.

Ved temperaturer over 0 ° C stiger varmeledningstallet ved alle materialer og ved alle fuktigheter i det undersøkte temperaturområde fra 0 til 25 ° C. tilnærmet lineært med middeltemperaturen. En undtagelse danner bare de grovkornede materialer, kuppelstein, fig. 22 a og trekull, fig. 27 a, ved stort vanninnhold, idet varmeledningstallet stiger sterkere og ikke lenger lineært med økende temperatur.

Ved overgang til frossen tilstand optrer ved samtlige materialer et sprang i varmeledningstallet. Størrelsen av spranget er avhengig av materialets vanninnhold. Ved de maksimale fuktigheter øker

således varmeledningstallet ved overgang til frossen tilstand ved de fleste materialer til over det dobbelte, mens spranget avtar mot null når fuktigheten går mot null. Spranget skyldes utelukkende tilstedeværelsen av vann i materialene, og kan helt naturlig forklares idet isens varmeledningstall, 1,5 kcal/mh ° C, er tre ganger så stort som varmeledningstallet for vann, 0,5 kcal/mh ° C.

Ved grus og sand, fig. 19 a og 21 a, viser spranget ved fuktighet under ca. 18 vol.pct. et avvikende forløp, idet varmeledningstallet avtar ved overgangen i frossen tilstand. Forklaringen ligger muligens i følgende: Når varmeledningstallet øker ved tilsetning av fuktighet i materialet, skyldes dette at kontakflaten mellom de enkelte grus- eller sandpartikler, fig. 2 og 4, blir større, der dannes på en måte varmebroer mellom sandpartiklene. Ved frysning av sanden vil disse varmebroer sannsynligvis delvis bli ødelagt, idet det under frysningen dannes iskrystaller som ikke gir så god kontakt mellom sandpartiklene. (Ved siden herav kan også de lave varmeledningstall i det frosne materiale komme av at det under frysning skjer en sterk forskyvning av fuktigheten opp mot kjøleplaten.)

b) Innflytelse av temperaturredifferansen mellom varme- og kjøleplate.

Forsøkene med fuktig materiale blev utført med en temperaturredifferanse på ca. 10 ° mellom varme- og kjøleplate. Med dette forholdsvis ringe temperaturfall som svarer til ca. 1 ° C/cm tykkelse av materialet, er temperaturfallet ved de fleste materialer uten noen innflytelse på varmeledningstallet. En merkbar innflytelse blev bare observert ved kuppelstein. Ved maksimalt vanninnhold i materialet stiger nemlig her varmeledningstallet sterkt med økende temperaturredifferanse, som det fremgår av fig. 22 a, i hvilken der for maksimalt vanninnhold er inntegnet kurver for  $\Delta t = 10^\circ, 5^\circ$  og  $2^\circ$ , og av fig. 22 c, som viser varmeledningstallet avhengig av temperaturredifferansen  $\Delta t$ . Årsaken til  $\lambda$ 's økning med tem-

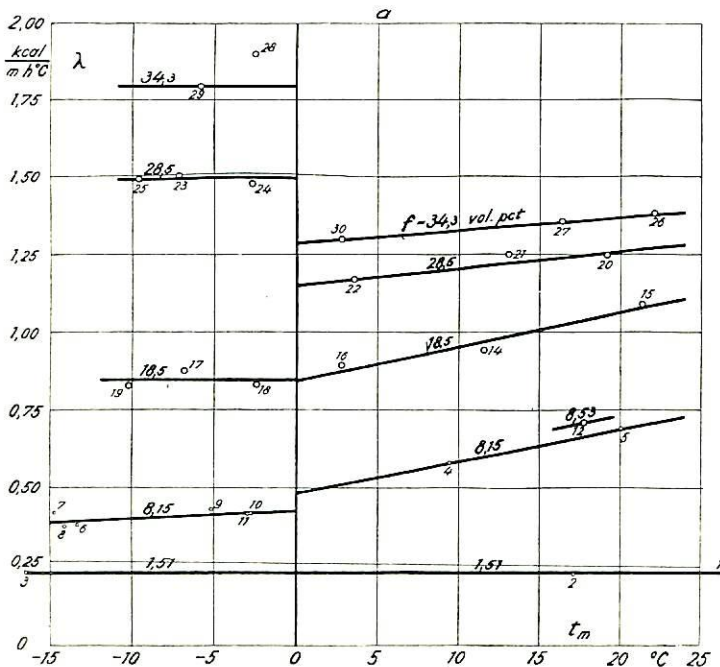


Fig. 21 a.

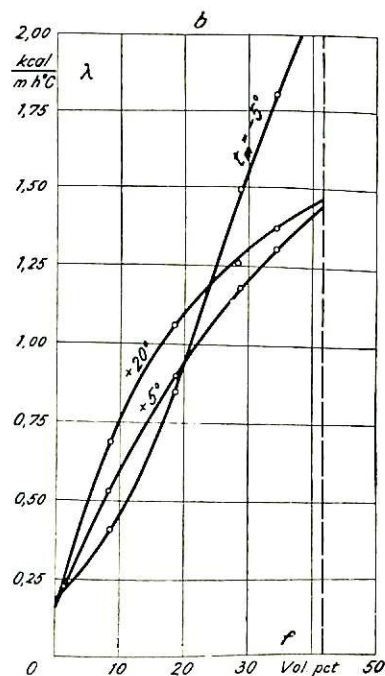


Fig. 21 b.

Fig. 21. Sand (A. 1.)



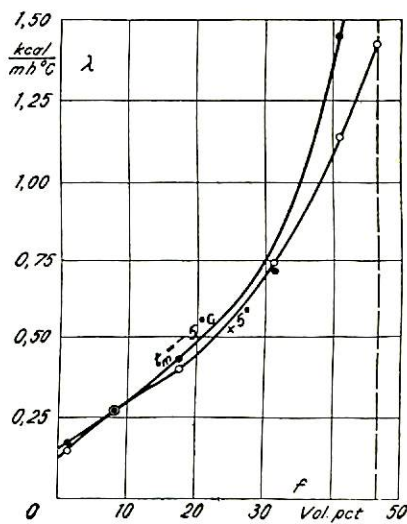
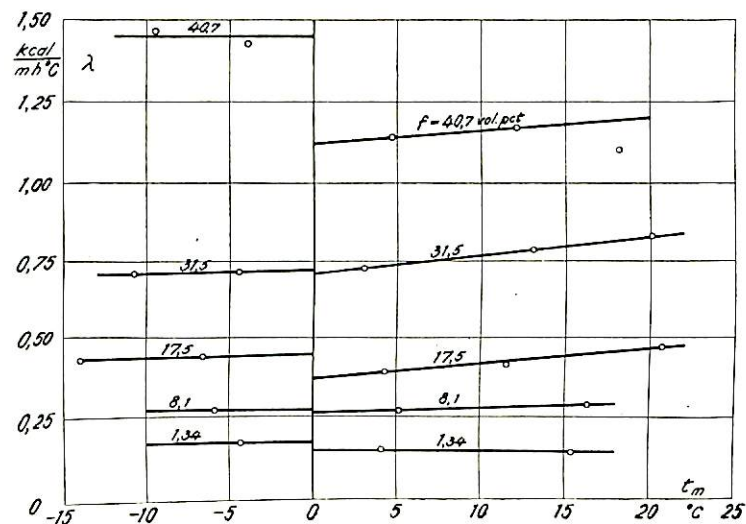
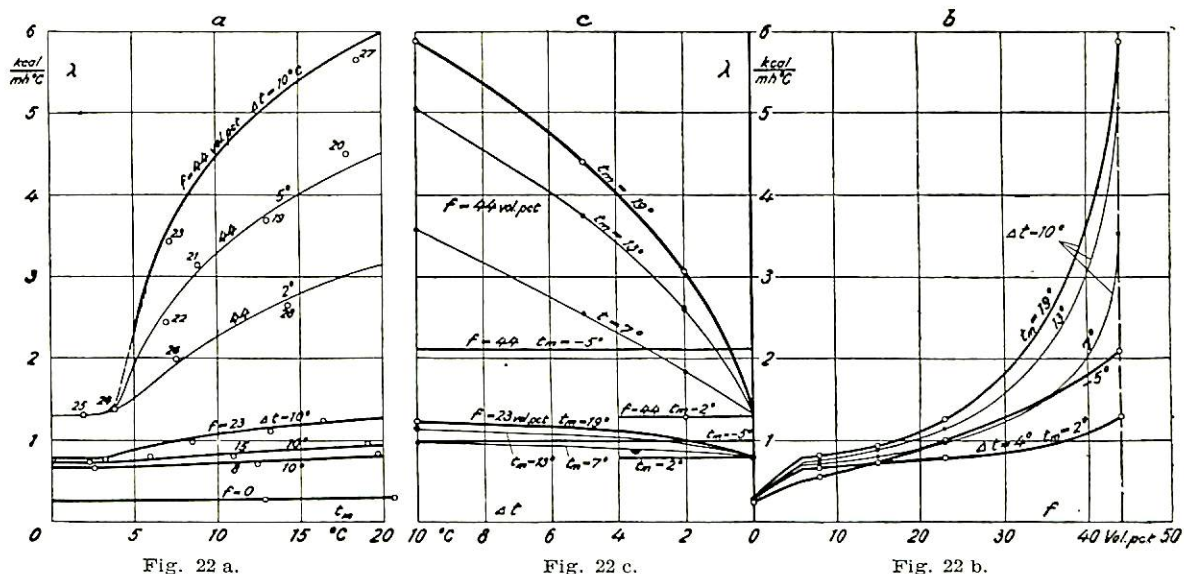


Fig. 23. Leire (A. 3).

peraturredifferansen er den at en stor del av varmen på grunn av de store hulrum mellom de enkelte sten — som ved stort vanninnhold er utfyllt med vann — overføres gjennom vannet ved konveksjon (vanncirkulasjon). Tenkes materialets varmeledningstall  $\lambda$  sammensatt av et tall som skyldes ledning  $\lambda_L$  og et som skyldes konveksjon  $\lambda_k$ , slik at  $\lambda = \lambda_L + \lambda_k$ , så er  $\lambda_L$  uavhengig av  $\Delta t$ , mens  $\lambda_k$  stiger sterkt, nesten proporsjonalt, med  $\Delta t$ . (Litt avvikende er forholdene i temperaturområdet fra 0 til 4° C, fig. 22 a. Da vannets spesifikke vekt er størst ved 4° C og kjøleplaten ligger over varmeplaten, vil varmen overføres ved ledning og konveksjon når temperaturen av kjøleplaten  $t_2$  og av varmeplaten  $t_1$  begge ligger over 4°, mens det omvendt ikke kan oppstå noen konveksjon når både kjøleplaten og varmeplaten temperatur er mindre enn 4° C. Er  $t_2 < 4^\circ$ ,  $t_1 > 4^\circ$ , overføres varmen i det øvre materialsjikt bare ved ledning, i det nedre ved ledning og konveksjon.)

Tilsvarende forhold som ved kuppelstein må ved maksimalt vanninnhold optre ved alle grovkornede

materialer, således også ved trekull, fig. 27 a. Her er den observerte sterke stigning av varmeledningstallet ved største vanninnhold delvis begrunnet i den samtidig med middeltemperaturen økende temperaturredifferanse  $\Delta t$  (tilskrevet observasjonspunktene). Ved finkornede eller amorf materialer influerer konveksjonen ikke merkbart på varmeledningsevnen, da hulrummene i disse materialer er så små at en bevegelse av vannet blir sterkt avdempet.

For de praktiske forhold vil det ikke bli tale om noen varmeoverføring gjennom vann ved konveksjon, både fordi vanninnholdet i materialene aldri vil bli så stort og fordi temperaturredifferansen i jorden er meget mindre enn selv den minste (0,2° C/cm), som blev anvendt i forsøksapparatet.

2. Vanninnholdets innflytelse.

Fig. 19 b til 28 b viser varmeledningstallet avhengig av vanninnholdet for fuktig og frosset materiale ved uforandret middeltemperatur.



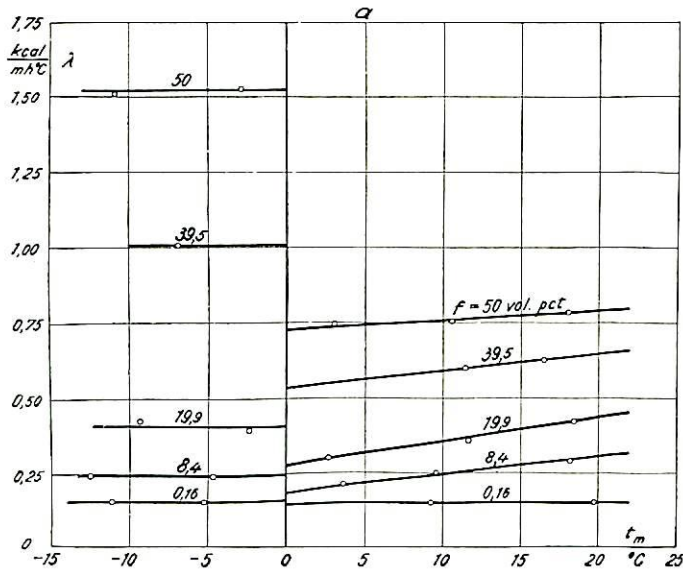


Fig. 24 a.

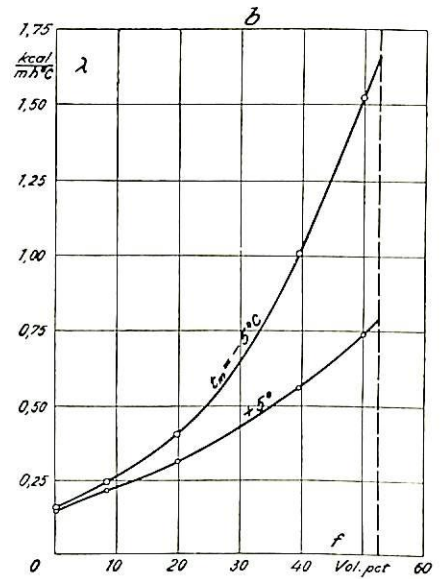


Fig. 24 b.

Fig. 24. Aske og slagg (B. 4).

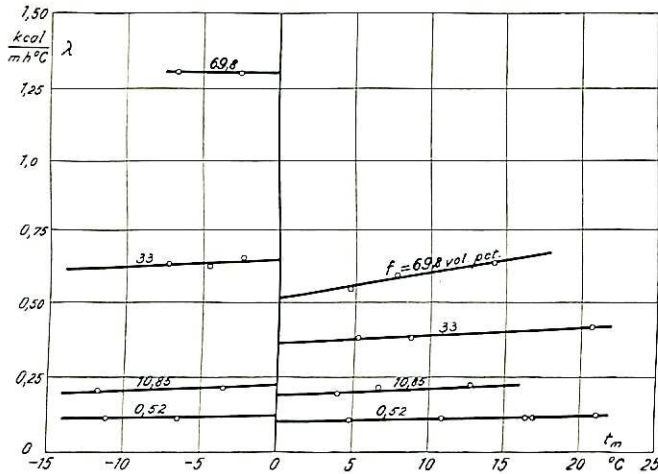


Fig. 25 a.

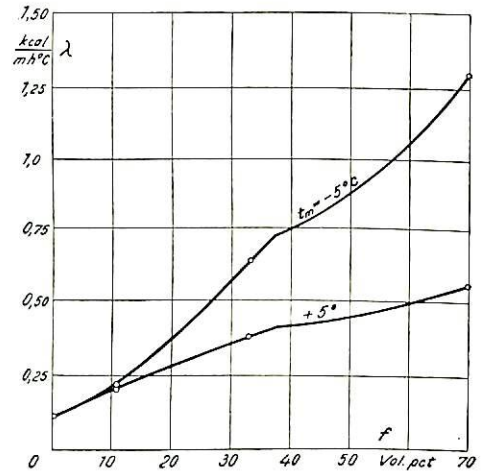


Fig. 25 b.

Fig. 25. Kullstubb (B. 5).

a) Forskyvning av vanninnholdet ved vanninnhold lavere enn adsorpsjonsmetning.

Ved alle porøse materialer som inneholder fuktighet, vil fuktigheten, når materialets forskjellige deler har forskjellig temperatur, forskyve sig fra de varmere over i de kaldere partier. Det samme foregår også i plateapparatene under bestemmelsen av fuktige materialers varmeledningstall. Vannet forskyves mot kjøleplaten, mens materialet i nærheten av varmeplaten blir uttørket [3, s. 41]. Sammenlignet med varmeledningstallet for jevnt fordelt fuktighet blir som følge herav det målte varmeledningstall noe mindre, hvorved avvikelsen vesentlig er avhengig av fuktighetsforskyvningen, som igjen er bestemt av temperaturdifferansen gjennom materialet, materialets tykkelse og forsøksstiden.

Krischer [4] har gjort tallrike undersøkelser vedrørende denne forskyvning av fuktigheten, vesentlig i kvartssand av forskjellig kornstørrelse. Ved disse forsøk viste det sig at forskyvningen, særlig ved de mere grovkornede materialer, influerte så sterkt på de målte varmeledningstall at disse ved flere forsøk avtok med økende middeltemperatur [4, fig. 13 og

18]. Ved våre forsøk er fuktighetsfordelingen jevnere, og kurven for varmeledningstallet som funksjon av middeltemperaturen har ved samtlige materialer et meget sannsynlig forløp. Forklaringen for denne forskjell ligger i forsøksanordningen. Ved dr. Krischers forsøk [4, s. 9] lå kjøleplaten under materialet, mens den ved våre forsøk ligger over, se fig. 1, slik at tyngdekraften, således som ved den virkelige anvendelse, vil bidra til å utjevne fuktigheten. Dessuten foretok dr. Krischer sine forsøk ved en midlere differanse mellom varme- og kjøleplatens temperatur på ca. 25 °C, og ved en materialtykkelse på ca. 35 mm, d. v. s. med et temperaturfall på vel 7 °C/cm, mens våre forsøk blev foretatt ved et midlere temperaturfall på bare ca. 1 °C/cm. På den annen side er forsøksstiden ved våre forsøk adskillig lengere på grunn av den større materialtykkelse.

Går man ut fra at fuktigheten innstiller sig lineært avhengig av materialets tykkelse, og at varmeledningstallet i fuktighetsområdet under adsorpsjonsmetningen varierer lineært med vanninnholdet, så viser en beregning [4, s. 18] at når varmeledningstallet  $\lambda_2$  i det våte materialsjikt nærmest kjøle-



platen er mindre enn 2 ganger  $\lambda_1$  i det tørreste materialskikt ved varmeplaten, er feilen i  $\lambda$ 's middelværdi mindre enn 3%. (Ved  $\lambda_2 = 3\lambda_1$  er feilen ca. 9% og ved  $\lambda_2 = 5\lambda_1$  ca. 17%.) Selv ved dr. Krischers forsøk blev det ved fuktigheter over 5 vol.pct. ikke målt større verdi enn  $\lambda_2 = 2\lambda_1$ , når undtas ved forsøkene med den groveste kvartssand, hvor avvikelsen på grunn av skiktdannelsen blev meget større. Ved våre forsøk vil fuktighetsforskyvningen bare spille noen rolle ved kuppelstein, hvor det kan regnes med at det målte varmeledningstall for fuktigheter mindre enn adsorpsjonsmetningen ( $f_a =$  ca. 6 vol.pct.) ligger maks. 3% under varmeledningstallet ved jevnt fordelt vanninnhold.

Under frysningen av materialet vil fuktighetsforskyvningen bli mere utpreget, fordi det vann som transporteres op til kjøleplaten fryser og derfor ikke kan strømme tilbake. (Dette fenomenen kan i jord bidra til økende vanninnhold i jordoverflaten og til dannelse av isskikter.)

For å bringe på det rene hvilke maksimale forskyvninger kan opptre under frysningen, blev det

ved enkelte av materialene uttatt fuktighetsprøver i det frosne materiale ved henholdsvis kjøle- og varmeplate, efter at forsøkene var avsluttet. Ved sand med en midlere fuktighet  $f = 1,51$  vol.pct. viste det sig herved et vanninnhold umiddelbart under kjøleplaten på 7,5 vol.pct. Antagelsen om lineært forløp av fuktigheten med tykkelsen holder altså her ikke stikk.

Antar man tilnærmet at all fuktighet er trukket op i det øvre materialskikt nærmest kjøleplaten, så vil dette skikt, som inneholder 7,5 vol.pct. vann, ha en tykkelse  $= 1,51/7,5 = 0,2$  av hele materialets tykkelse. Betegner  $\lambda$  det målte varmeledningstall ved  $t_m = -5^\circ\text{C}$  og ved midlere fuktighet  $f = 1,51$  vol.pct. ( $\lambda$  målt 0,22 kcal/mh $^\circ\text{C}$ ), og betegner  $\lambda_2$  varmeledningstallet ved 7,5 vol.pct. (av fig. 21 b  $\lambda_2 = 0,375$ ), så kan varmeledningstallet  $\lambda_1$  i det tørre materiale beregnes av ligningen  $1/\lambda = 0,8/\lambda_1 + 0,2/\lambda_2$ , som gir  $\lambda_1 = 0,20$  kcal/mh $^\circ\text{C}$ .

Går man ut fra at varmeledningstallet innen området stiger lineært med fuktigheten, blir ved  $f = 1,51$  vol.pct. fuktighet det virkelige varmeledningstal

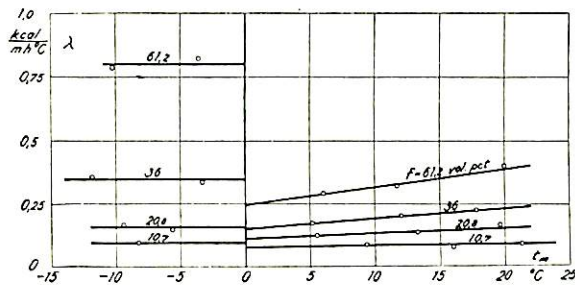


Fig. 26 a.

Fig. 26. Myrmaterial (C. 6).

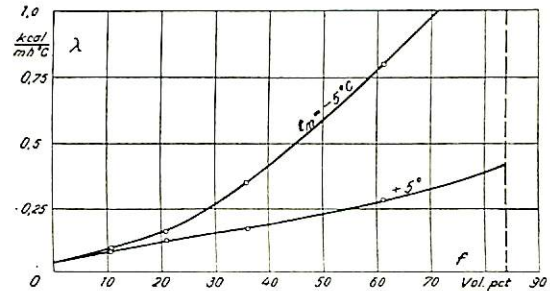


Fig. 26 b.

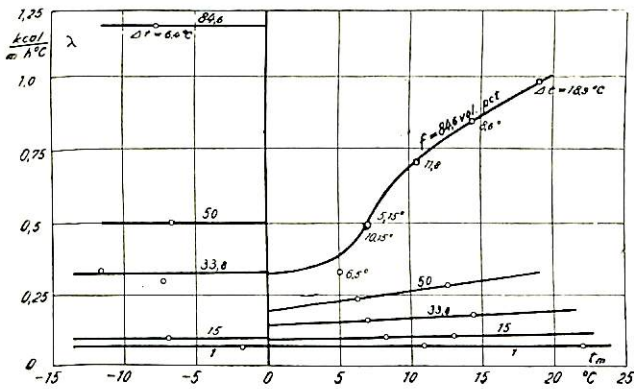


Fig. 27 a.

Fig. 27. Trekkull (C. 7).

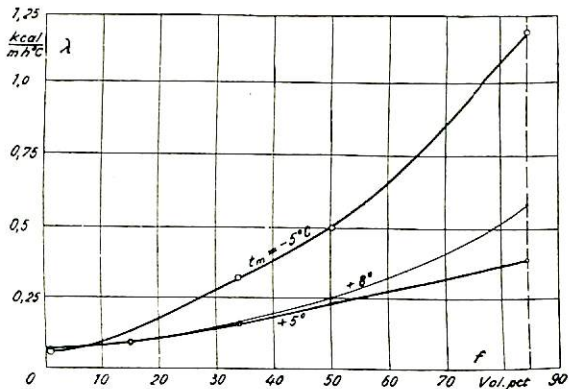


Fig. 27 b.

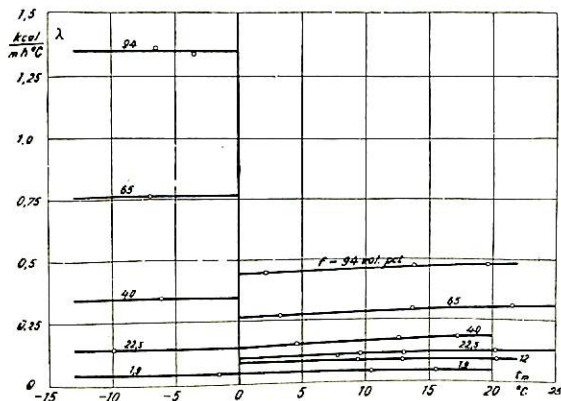


Fig. 28 a.

Fig. 28. Torvstro (C. 8).

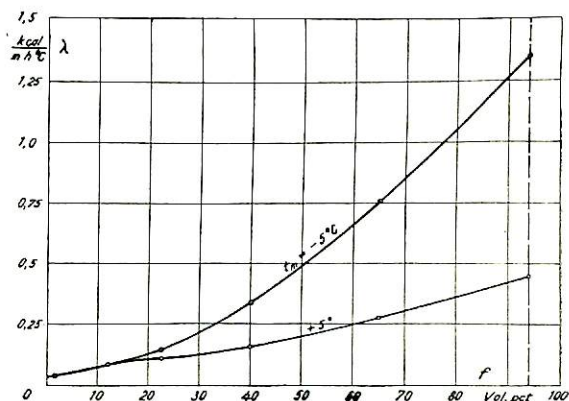


Fig. 28 b.



$\lambda' = \lambda_1 + (\lambda_2 - \lambda_1) \cdot 0,2 = 0,235$  kcal/mh ° C, eller 7 % større enn den av målingen direkte beregnede verdi 0,22 kcal/mh ° C.

Ved *kuppelstein* vil man ved de minste vanninnhold få en tilsvarende forskyvning som i sand, mens vanninnholdets forskyvning ved de andre materialer blir mindre utpreget slik at en feil på 7 % må ansees som absolutt maksimum.

På samme måte som ved sand blev det ved prøvning av *leire* ved en midlere fuktighet på 8,1 vol.pct. utfatt fuktighetsprøver av det frosne materiale ved henholdsvis kjøle- og varmeplate, etter at forsøksserien var avsluttet. Vanninnholdet blev nærmest kjøleplaten bestemt til  $f_2 = 12,7$  vol.pct. og nærmest varmeplaten til  $f_1 = 4,0$  vol.pct. Antagelsen om lineært forløp av fuktigheten som funksjon av materialets tykkelse ser således ut til å stemme bra. Av fig. 23 b finnes varmeledningstallet ved 12,7 vol.pct. fuktighet  $\lambda_2 = 0,38$  og ved 4,0 vol.pct.  $\lambda_1 = 0,20$ . Avvikelsen fra det målte midlere varmeledningstall beregner sig herav til mindre enn 3 %.

Den feil som fremkommer på grunn av forskyvning av fuktigheten i forsøksapparatet, er så minimal at den for de praktiske formål som disse undersøkelser fortrinnsvis tjener er uten betydning. Dessuten bør man være opmerksom på at det også inntreer fuktighetsforskyvning ved materialenes praktiske anvendelse til masseutskifting. Av disse grunner er de i tabellene og på kurvebladene meddelte varmeledningstall utregnet direkte av forsøkene uten korreksjon.

b) Skiktdannelse ved overskridelse av materialets adsorbsjonsvanninnhold.

Er materialet adsorbsjonsmettet (tabell 1), så vil det vann som ytterligere kommer til, f. eks. ved regn, når man har en effektiv drenering, renne av mate-

rialet og ikke øke dets vanninnhold. I forsøksapparatet derimot vil den vannmengde som overskrider adsorbsjonsmengden samle sig nederst, så materialet her blir helt fuktighetsmettet med alle hulrum fylt med vann. Ved stigende fuktighet vil det nedre vannfylte materialsjikt bli tykkere inntil materialet i hele sin tykkelse er vannfylt. Det oppstår altså her i forsøksapparatet driftsforhold som man søker å undgå ved den vanlige anvendelse av materialet. Bestemmelsen av varmeledningstallene for de helt vannfylte materialer er allikevel viktig fordi den muliggjør en sikrere bestemmelse av kurveforløpet for varmeledningstallet som funksjon av vanninnholdet.

Ved vanninnhold som ligger mellom adsorbsjonsmetningen og full fuktighetsmetning, vil varme-transporten foregå gjennom det nedre sjikt  $s_m$ , som er helt mettet med vann, og gjennom det øvre sjikt  $s_a$  av adsorbsjonsmettet materiale. Høiden av de to sjikt  $s_m$  og  $s_a$  kan beregnes når den totale vannmengde  $f$  samt fuktigheten  $f_a$  i adsorbsjonsmettet og  $f_m$  i fuktighetsmettet materiale er kjent, hvorved det forutsettes at det inntreer et utpreget skille mellom begge tilstander. Med betegnelser som ovenfor blir

$$s_m = s \cdot (f - f_a) / (f_m - f_a) \text{ og } s_a = s - s_m$$

hvor  $s$  er den samlede tykkelse av materialet i forsøksapparatet.

Er varmeledningstallet kjent for adsorbsjonsmettet tilstand  $\lambda_a$  og for fuktighetsmettet materiale  $\lambda_m$ , så kan man ved hjelp av de beregnede verdier for skikthykkelsen  $s_a$  og  $s_m$  beregne varmeledningstallet for de mellemliggende fuktigheter av ligningen

$$\lambda = \frac{s}{s_a \lambda_a + s_m \lambda_m} \text{ kcal/mh } ^\circ \text{ C}$$

Fig. 29 og 30. Varmeledningstall  $\lambda$  i kcal/mh ° C for fuktig materiale avhengig av vanninnholdet  $f$  i vol.pct. Kurvene er tegnet inntil den maksimalt optatte vannmengde  $f_m$ . Den omtrentlige grense for adsorbsjonsmetningen  $f_a$  er merket med (o), Gruppe A: 10) Kvabjord. 9) Grus. 1) Sand. 2) Kuppelstein. 3) Leire. Gruppe B: 4) Aske og slagg. 5) Kullstubb. Gruppe C: 6) Myrmaterial. 7) Trekull. 8) Torvstrø.

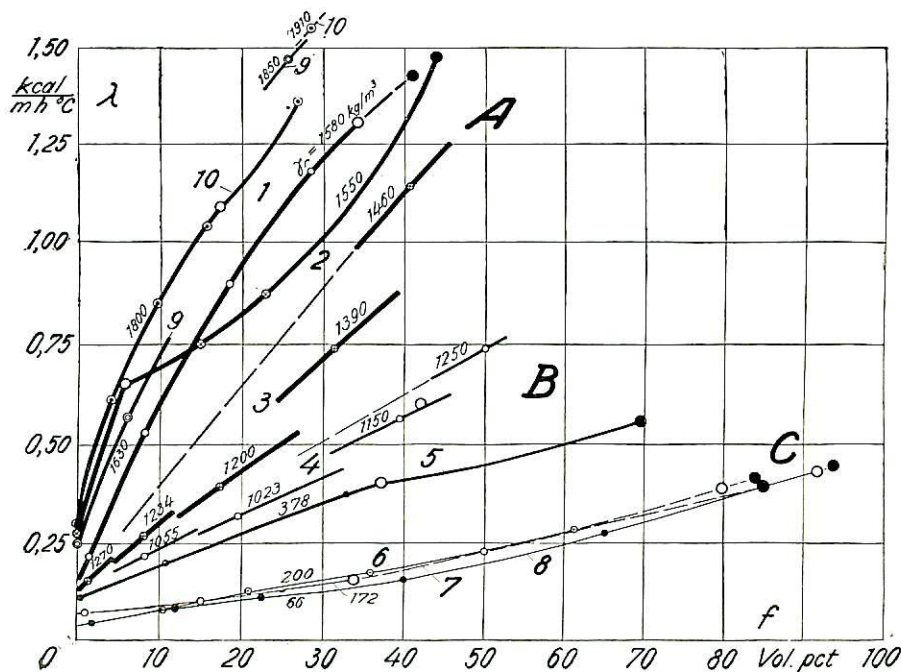


Fig. 29. Fuktig materiale; middeltemperatur + 5 ° C.



Ved materialer hvor forskjellen mellem vanninnholdet i det fuktighetsmettede og det adsorbsjonsmettede materiale er forholdsvis stor, er varmeledningstallet blitt direkte målt ved enkelte av disse mellemliggende fuktigheter. Ved meget grovkornede materialer, som kuppelstein og trekull, kan man her ved ikke vente noen fullkommen overensstemmelse mellom måling og beregning, da skiktens skilleflate blir meget uregelmessig av form og skiktykkelsen derfor nokså ubestemmelig. (Ved trekull var avvikelsen ubetydelig, mens man ved kuppelstein fant en større forskjell, hvorav dog en del må tilskrives en inntrådt lekkasje i forsøksapparatet.)

C. Midlere varmeledningstall som funksjon av vanninnhold og tørrstoffvekt ved konstant middeltemperatur.

I fig. 29 og 30 er varmeledningstallene for samtlige undersøkte materialer optegnet som funksjon av vanninnhold i vol.pct. i kurver av konstant middeltemperatur  $t_m = +5^\circ\text{C}$  (fig. 29) og  $t_m = -5^\circ\text{C}$  (fig. 30). Kurvene omfatter hele området fra tørr tilstand til det maksimale vanninnhold  $f_m$  som tilsvarende den tilsynelatende hulromsprocent og som er markert ved stort sort punkt. Det punkt som for hver kurve svarer til adsorbsjonsmettet tilstand, er markert med stor åpen sirkel.

Da varmeledningstallene innenfor det temperaturområde over og under frysepunktet som har praktisk betydning for masseutskiftningen, bare i liten grad varierer med middeltemperaturen, vil de i fig. 29 og 30 optegnede kurver med tilstrekkelig nøiaktighet også gjelde for hvilken som helst middeltemperatur i dette område. Fig. 29 og 30 gir derfor en sammen-

likning av de undersøkte materialers varmeledningstall.

For de materialer som ved forskjellig vanninnhold har konstant tørrstoffvekt pr.  $\text{m}^3$ , kan man gjennom forsøkspunktene trekke op en sammenhengende kurve for hvert materiale. Det samme kan man ikke gjøre når materialets volum forandrer sig ved tilførsel av fuktigheten, således som det er tilfelle ved materialene 9 (kvabjerd), 3 (leire) og 4 (aske og slagg). De forskjellige forsøkspunkter vil da tilhøre forskjellige kurver. (Ved maksimalt vanninnhold forandret volumet sig også for materiale 10 (grus).

Overensstemmende med tidligere bestemmelser av bygningsmaterialers varmeledningstall [3, s. 20 og 32] viser fig. 29 og 30 at  $\lambda$  i første rekke er avhengig av tørrstoffets rumvekt, størst for gruppe A med tørrstoffvekt mellom 1790 og 1270  $\text{kg}/\text{m}^3$ , minst for gruppe C med tørrstoffvekt mellom 200 og 66  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Kurvene for konstant tørrstoffvekt (1 og 5) viser ved en middeltemperatur av  $+5^\circ\text{C}$ , fig. 29, nedenfor adsorbsjonsmetningen, en svak avbøining i retning mot økende fuktighet. I frosne tilstand av materialet, fig. 30, er krumningen omvendt. Man må anta at kurvene vilde ha krummet sig på tilsvarende måte også for materialene 9, 3 og 4, hvis tørrstoffets rumvekt hadde vært konstant. I henhold hertil er på fig. 29 og 30 for disse 2 materialer inntegnet kortere kurvestykker gjennom hvert forsøkspunkt, tilsvarende konstante tørrstoffvekter pr.  $\text{m}^3$ . Som man vil se av fig. 29 og 30, ligger disse kurvestykker meget sannsynlig i forhold til hverandre.

For å klarlegge tørrstoffvektens innflytelse blev varmeledningstallene for fuktige og frosne materialer

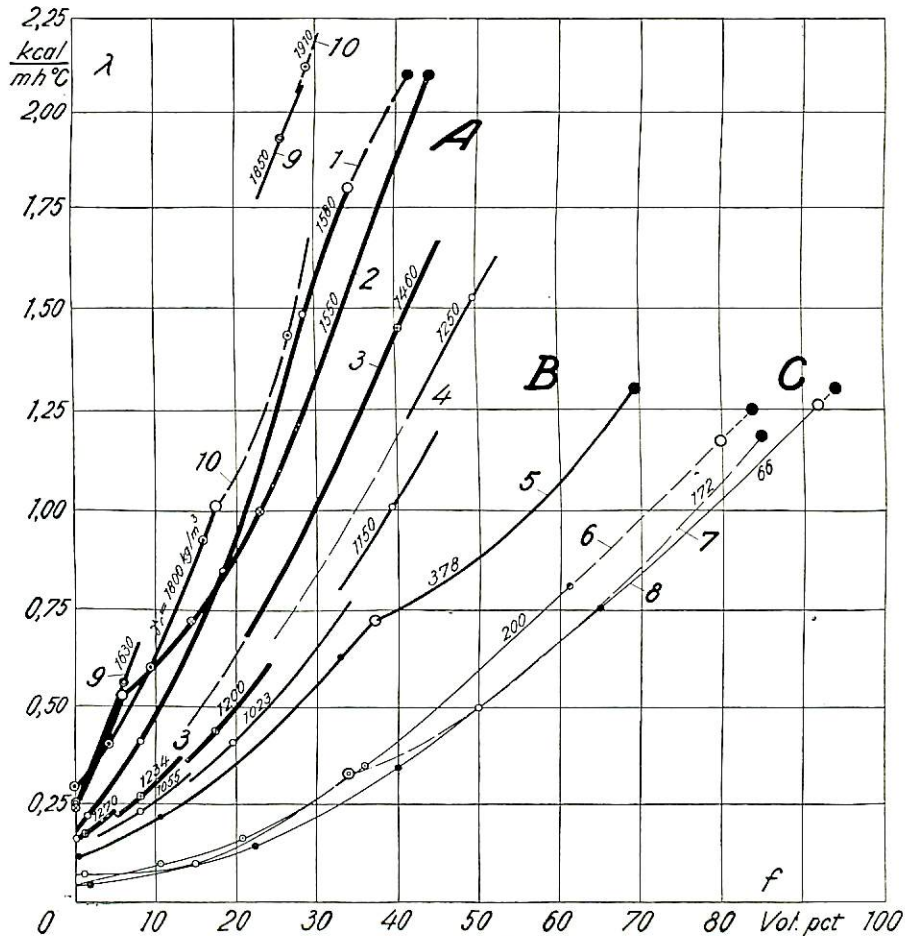


Fig. 30. Frosset materiale; middeltemperatur  $+5^\circ\text{C}$ .



Tabell 4. A. 7. Sand. Spes.vekt  $\gamma = 2700 \text{ kg/m}^3$ , rumvekt tørr  $\gamma_r = 1580 \text{ kg/m}^3$ , midl. kornstørrelse  $d_m = 7 \text{ mm}$  (slg. fig. 4 og 13), maks. vanninnhold  $f_m = 41,5 \text{ vol.pct.}$ , adsorpsjonsvanninnhold  $f_a = 34,0 \text{ vol.pct.}$

Vanninnhold ..... vol.pct.	1,51		8,15		8,53		18,5		28,5		34,3																		
Materialtykkelse ..... mm	84		92		100		100		100		100																		
Forsøksnr. ....	1	2	3	5	4	10	11	9	6	8	7	12	15	14	16	18	17	19	20	21	22	24	23	25	26	27	30	28	29
Temperaturer: Varmeplate $t_1$ ..... °C	40,60	22,40	-12,65	21,42	10,91	-0,20	-0,18	-2,45	-8,97	-9,50	-10,67	23,95	27,35	14,80	5,22	-0,08	-4,40	-7,72	25,56	18,10	6,30	-0,85	-4,90	-7,15	27,65	21,20	5,07	-0,65	-3,70
Kjøleplate $t_2$ ..... °C	11,90	11,85	-20,25	18,56	7,81	-5,43	-5,63	-7,95	-17,75	-18,54	-18,72	11,40	15,30	8,30	0,30	-5,10	-9,25	-13,02	12,64	7,85	0,70	-4,40	-9,25	-12,05	16,55	11,45	0,53	-4,56	-8,15
Differens $\Delta t = t_1 - t_2$ ..... °C	28,70	10,55	7,60	2,86	3,10	5,23	5,45	5,50	8,78	9,04	8,05	12,55	12,05	6,50	4,92	5,02	5,85	5,30	12,92	10,25	5,60	3,55	4,35	5,10	11,00	9,75	4,54	3,91	4,45
Middel $t_m = (t_1 + t_2)/2$ ..... °C	26,25	17,13	-16,45	19,99	9,36	-2,82	-2,91	-5,20	-13,36	-14,02	-14,70	17,67	21,33	11,55	2,76	-2,59	-6,83	-10,37	19,10	12,98	3,50	-2,63	-7,08	-9,60	22,10	16,33	2,80	-2,61	-5,93
Varmeledningstall ..... kcal/mh °C	0,23	0,22	0,21	0,69	0,58	0,41	0,41	0,43	0,37	0,37	0,41	0,70	1,09	0,94	0,89	0,83	0,87	0,82	1,24	1,25	1,17	1,47	1,49	1,49	1,38	1,36	1,30	1,90	1,79

Tabell 5. A. 2. Kuppelstein. Midl. kornstørrelse 28,6 mm (slg. fig. 5 og 14),  $\gamma = 2780 \text{ kg/m}^3$ ,  $\gamma_r = 1550 \text{ kg/m}^3$ ,  $f_m = 44,2 \text{ vol.pct.}$ ,  $f_a = 6,0 \text{ vol.pct.}$

Vanninnhold ..... vol.pct.	0		8		15 (korr.)		23 (korr.)		44		44																			
Materialtykkelse ..... mm	98		98		98		98		98		98																			
Midl. temp. diff. ca. .... °C	1		3		5		7		9		11																			
Temperaturer: Varmeplate $t_1$ ..... °C	30,60	17,35	-4,00	28,65	12,90	4,85	-0,15	27,35	16,24	11,23	4,30	3,30	22,35	17,90	11,77	6,12	-0,50	-5,10	23,25	12,10	21,14	15,40	11,62	9,13	6,94	-2,25	-6,00	15,21	8,63	3,62
Kjøleplate $t_2$ ..... °C	10,60	8,35	-9,40	10,62	9,90	0,30	-5,55	10,63	5,60	0,55	0,15	0,45	10,40	8,50	5,27	0,50	-4,85	-9,80	13,83	2,25	14,58	10,75	6,18	4,73	0,70	-6,33	-11,00	13,35	6,47	0,34
Differens $\Delta t$ ..... °C	20,00	9,00	5,40	18,03	3,00	4,55	5,40	16,72	10,64	10,68	4,15	0,15	11,95	9,40	6,50	5,62	4,35	4,70	9,42	9,85	6,56	4,65	5,44	4,40	6,24	4,08	5,00	1,86	2,16	3,28
Middel $t_m$ ..... °C	20,60	12,85	-6,70	19,55	11,40	2,58	-2,85	18,99	10,92	5,89	2,23	0,38	16,38	13,20	8,52	3,31	-2,68	-7,45	18,54	7,18	17,86	13,08	8,90	6,93	3,82	-4,29	-8,50	14,28	7,55	1,98
Varmeledningstall ..... kcal/mh °C	0,30	0,29	0,23	0,84	0,72	0,66	0,56	0,97	0,82	0,81	0,72	0,72	1,24	1,12	0,99	0,77	1,00	1,00	5,64	3,43	4,50	3,69	3,14	2,43	1,37	2,10	2,08	2,65	1,99	1,31

Tabell 6. A. 3. Leire. Fint pulverisert (slg. fig. 6),  $\gamma = 2745$ ,  $\gamma_r =$  for prøvene 1270  $\text{kg/m}^3$ , etter prøvene 1460  $\text{kg/m}^3$ ,  $f_m = 40,7 \text{ vol.pct.}$ ,  $f_a = 50,7 \text{ vol.pct.}$

Vanninnhold ..... vol.pct.	1,33		8,1		17,5		31,5		40,7	
Materialtyk. før prøven ..... mm	100		103		106		106		87	
Forsøksnr. ....	1	2	3	4	5	6	9	10	11	12
Temperaturer: Varmeplate $t_1$ ..... °C	20,00	8,30	-0,57	21,06	10,17	-1,70	29,25	17,07	8,40	0,20
Kjøleplate $t_2$ ..... °C	10,80	0,06	-8,10	11,66	0,17	-10,07	12,10	6,03	0,20	0,20
Differens $\Delta t$ ..... °C	9,20	8,24	7,53	9,49	10,00	8,37	17,15	11,04	8,20	8,20
Middel $t_m$ ..... °C	15,40	4,18	-4,34	16,36	5,17	-5,89	20,68	11,55	4,30	4,30
Varmeledningstall ..... kcal/mh °C	0,15	0,15	0,17	0,29	0,27	0,26	0,47	0,42	0,30	0,30

Tabell 7. B. 4. Aske og slagg. Midl. kornstørrelse 1,8 mm (slg. fig. 7 og 15),  $\gamma = 2630 \text{ kg/m}^3$ ,  $\gamma_r =$  for prøvene 975, etter prøvene 1250  $\text{kg/m}^3$ ,  $f_m = 52,5 \text{ vol.pct.}$ ,  $f_a = 42,0 \text{ vol.pct.}$

Vanninnhold ..... vol.pct.	0,16		8,4		19,9		39,5		50,0													
Materialtyk. før prøven ..... mm	105		97		100		89		82													
Forsøksnr. ....	2	1	3	4	9	8	7	14	13	15												
Temperaturer: Varmeplate $t_1$ ..... °C	25,45	15,33	-0,85	-6,65	26,05	13,90	6,65	-2,05	-9,85	26,65	15,95	4,80	-0,20	-5,25	24,30	14,70	-5,00	26,05	12,55	5,45	-0,55	-8,50
Kjøleplate $t_2$ ..... °C	14,00	3,03	-9,60	-15,43	10,15	5,30	0,65	-7,25	-15,10	10,15	7,35	0,45	-4,57	-13,45	8,75	8,22	-8,75	10,00	8,75	0,65	-5,25	-13,25
Differens $\Delta t$ ..... °C	11,45	12,30	8,75	8,78	15,90	8,60	6,00	5,20	5,25	16,50	8,60	4,35	4,37	8,20	15,55	6,48	3,75	16,05	3,80	4,80	4,70	4,75
Middel $t_m$ ..... °C	19,73	9,18	-5,23	-11,04	18,10	9,60	3,65	-4,65	-12,48	18,40	11,65	2,62	-2,39	-9,35	16,52	11,46	-6,88	18,02	10,65	3,05	-2,90	-10,88
Varmeledningstall ..... kcal/mh °C	0,16	0,15	0,16	0,16	0,29	0,25	0,21	0,24	0,24	0,42	0,35	0,30	0,39	0,42	0,62	0,60	1,01	0,78	0,75	0,74	1,53	1,51

Tabell 8. B. 5. Kullstubb. Midl. kornstørrelse 1,75 mm (slg. fig. 8 og 16),  $\gamma = 1890 \text{ kg/m}^3$ ,  $\gamma_r = 278 \text{ vol.pct.}$ ,  $f_m = 69,8$ ,  $f_a = 37,0 \text{ vol.pct.}$

Vanninnhold ..... vol.pct.	0,5		33,0		69,8						
Materialtyk. før prøven ..... mm	98		101		102						
Forsøksnr. ....	3	1	4	2	5	6					
Temperaturer: Varmeplate $t_1$ ..... °C	27,96	27,70	27,20	16,55	8,70	-2,55	-7,33	24,75	12,65	10,9	99
Kjøleplate $t_2$ ..... °C	14,15	6,00	5,58	5,20	0,82	-10,35	-14,95	0,80	0,80	10	9
Differens $\Delta t$ ..... °C	13,81	21,70	21,62	11,35	7,88	7,80	7,62	23,95	11,85	18	17
Middel $t_m$ ..... °C	21,05	16,90	16,40	10,90	4,80	-6,45	-11,14	12,77	6,72	16	15
Varmeledningstall ..... kcal/mh °C	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11	0,22	0,22	14	13

Tabell 9. C. 6. Myrmaterial (slg. fig. 9).  $\gamma = 1580 \text{ kg/m}^3$ ,  $\gamma_r = 200 \text{ kg/m}^3$ ,  $f_m = 83,8 \text{ vol.pct.}$ ,  $f_a = 80,0 \text{ vol.pct.}$

Vanninnhold ..... vol.pct.	10,7		20,8		36,0		61,2												
Materialtyk. før prøven ..... mm	99		99		99		99												
Forsøksnr. ....	1	2	3	4	5	6	7	9											
Temperaturer: Varmeplate $t_1$ ..... °C	30,85	24,33	17,35	-3,78	28,75	21,15	10,75	-1,35	4,33	25,55	18,30	10,00	-0,74	-8,25	27,94	17,83	11,14	-1,25	-6,25
Kjøleplate $t_2$ ..... °C	11,75	7,57	1,37	-12,83	10,50	5,30	0,25	-10,13	14,58	10,15	5,60	0,25	-6,00	-15,50	12,04	5,63	0,90	-6,00	-14,37
Differens $\Delta t$ ..... °C	19,10	16,76	15,98	9,05	18,25	15,85	10,50	8,80	10,24	15,40	12,70	9,75	5,26	7,25	15,90	12,20	10,24	4,75	8,12
Middel $t_m$ ..... °C	21,30	15,95	9,36	-8,31	19,63	13,23	5,50	-5,73	9,45	17,85	11,95	5,13	-3,37	-11,88	20,00	11,73	6,02	-3,63	-10,31
Varmeledningstall ..... kcal/mh °C	0,09	0,08	0,09	0,09	0,16	0,14	0,12	0,15	0,17	0,23	0,20	0,17	0,34	0,36	0,40	0,32	0,29	0,82	0,79

Tabell 10. C. 7. Treull. Midl. kornstørrelse 12,8 mm (slg. fig. 10 og 17),  $\gamma = 1470 \text{ kg/m}^3$ ,  $\gamma_r = 172 \text{ kg/m}^3$ ,  $f_m = 84,6 \text{ vol.pct.}$ ,  $f_a = 34,0 \text{ vol.pct.}$

Vanninnhold ..... vol.pct.	34		50		84,6															
Materialtyk. før prøven ..... mm	95		95		95															
Forsøksnr. ....	2	3	1	5	4	6	8													
Temperaturer: Varmeplate $t_1$ ..... °C	30,85	20,00	5,30	24,30	14,60	-0,10	26,95	9,30	-5,10	-9,10	23,55	10,77	-4,25	28,50	18,60	16,45	9,60	12,05	8,40	-4,60
Kjøleplate $t_2$ ..... °C	13,00	1,75	-8,85	1,82	1,85	-13,85	1,90	1,80	-9,25	-14,00	1,90	1,90	-9,25	9,60	10,00	4,65	4,45	1,90	1,9	-11,00
Differens $\Delta t$ ..... °C	17,85	18,25	14,15	22,48	12,75	13,75	25,05	7,59	4,15	4,90	21,65	8,87	5,00	18,90	8,60	11,80	5,15	10,15	6,50	6,40
Middel $t_m$ ..... °C	21,92	10,87	-1,77	13,06	8,22	-6,97	14,42	5,55	-7,17	-11,55	12,72	6,33	-6,75	19,05	14,30	10,55	7,02	6,97	5,15	-7,80
Varmeledningstall ..... kcal/mh °C	0,07	0,07	0,06	0,11	0,10	0,09	0,18	0,16	0,30	0,34	0,29	0,23	0,50	0,98	0,85	0,70	0,50	0,49	0,33	1,19

Tabell 11. C. 8. Torvstrø (slg. fig. 11).  $\gamma = 1430 \text{ kg/m}^3$ ,  $\gamma_r = 66 \text{ kg/m}^3$ ,  $f_m = 94,8 \text{ vol.pct.}$ ,  $f_a = 92,0 \text{ vol.pct.}$

Vanninnhold ..... vol.pct.	1,9		12		22,5		40		65		94													
Materialtyk. før prøven ..... mm	100		98		98		99		97		100													
Forsøksnr. ....	3	2	1	5	4	6	7	9	8	10	11	13												
Temperaturer: Varmeplate $t_1$ ..... °C	30,10	20,20	8,50	27,50	22,50	15,00	28,80	22,05	15,40	11,90	6,50	23,17	17,50	8,75	-2,30	28,45	19,40	5,70	-4,10	25,13	19,45	4,15	-0,15	-4,10
Kjøleplate $t_2$ ..... °C	0,85	0,60	-11,70	13,10	3,30	3,70	11,65	3,85	3,70	3,60														



i fig. 31 til 34 optegnet avhengig av rumvekten for det tørre materiale. Fig. 31 og 32 gjelder for materialene av gruppe A og B, fig. 33 og 34 for materialene av gruppe C. De tykt inntegnede linjer for  $f = 0$  og  $f = \text{maks}$  i hovedfigurene, svarer henholdsvis til tørt tilstand og til det maksimale vanninnhold som tilsvarende den tilsynelatende hulrumsprocent. De tynt inntegnede mellemliggende kurver gjelder for konstante vanninnhold, i fig. 31 og 32 for 10, 20, 30, 40 og 50 vol.pct. og i fig. 33 og 34 for 25, 50 og 75 vol.pct.

Forsøkspunktene ligger, særlig ved høiere tørrstoffvekt, noe spredt omkring de inntegnede midlere kurver. Dette må hovedsakelig tilskrives materialenes oppbygning (fordeling av porositeten), og delvis varmeoverføring ved konveksjon og stråling, samt ved fordampning og kondensasjon. Dessuten kan varmeledningstallet for det faste materiale p. g. a. den høist forskjellige sammensetning av de undersøkte materialer avvike fra de for de inntegnede grensekurver antatte middelverdier.

Mens hovedfigurene 31 til 34 er tegnet for det område som omfattes av forsøkene, viser sidefigurene 31 til 34 varmeledningstallets avhengighet av tørrstoffvekten i hele området fra 0 til tørrstoffets spesifikke vekt  $\gamma$ . I figurene er inntegnet teoretiske grensekurver som svarer til tørt materiale og til materiale med maksimal fuktighet. Grensekurvene møtes i punktet for varmeledningstallet for massivt materiale når tørrstoffvekten er lik tørrstoffets spesifikke vekt. For materialene i gruppe A er for massiv sten antatt  $\gamma = 2700 \text{ kg/m}^3$  og  $\lambda = 2,8 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ , for gruppe C er for helt sammenpresset materiale regnet med  $\gamma = 1500 \text{ kg/m}^3$  og  $\lambda = 0,4 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ .

Grensekurvenes forløp er avhengig av strukturen av det faste materiale [4, s. 4-6]. Den teoretisk laveste grenseverdi fåes hvis materialet er opdelt i tallrike planparallele skikter av avvekslende fast materiale og luft eller vann, som loddrett på skiktene gjennomstrømmes av varmen. Den teoretisk største verdi fåes hvis varmestrømmen foregår parallelt med skikter eller søiler av fast materiale.

Fig. 31 og 32. Materialer gruppe A og B. Varmeledningstall  $\lambda$  i kcal/mh $^\circ$ C for konstant vanninnhold  $f = 10, 20, 30, 40$  og  $50$  vol.pct. og for det maksimale vanninnhold  $f = \text{maks}$ . avhengig av rumvekten  $\gamma_r$  i  $\text{kg/m}^3$  innen forsøksområdet. Fig 31 a og 31 b. Samme avhengighet for rumvekt inntil  $2700 \text{ kg/m}^3$  (massivt materiale).

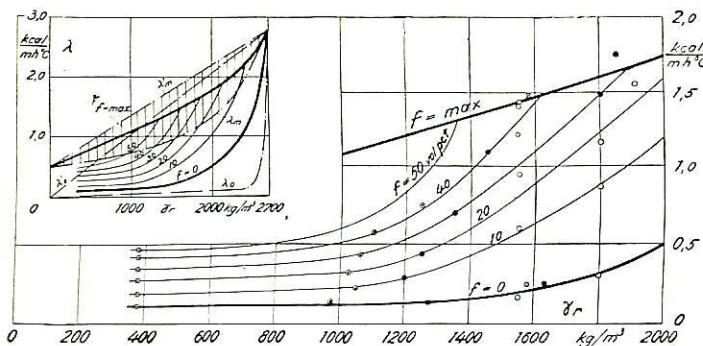


Fig. 31. Fuktig materiale; middeltemperatur + 5° C.

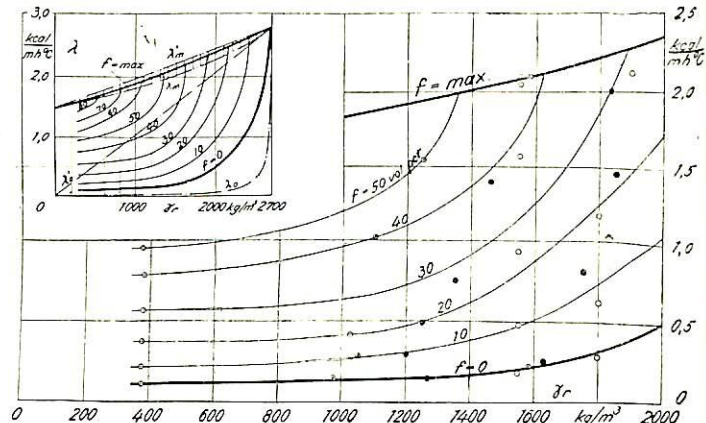


Fig. 32. Frosset materiale; middeltemperatur + 5° C.

Fig. 33 og 34. Materialer gruppe C. Varmeledningstall  $\lambda$  i kcal/mh $^\circ$ C for konstant vanninnhold  $f = 0, 25, 50, 75$  vol.pct. og for maksimalt vanninnhold  $f = \text{maks}$ . avhengig av rumvekten  $\gamma_r$  i  $\text{kg/m}^3$  innenfor observasjonsområdet.

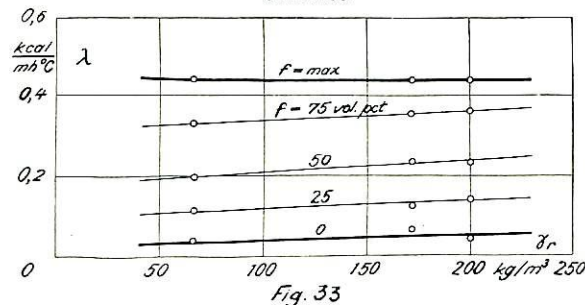


Fig. 33

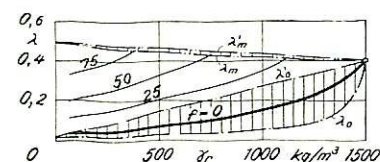


Fig. 33 a

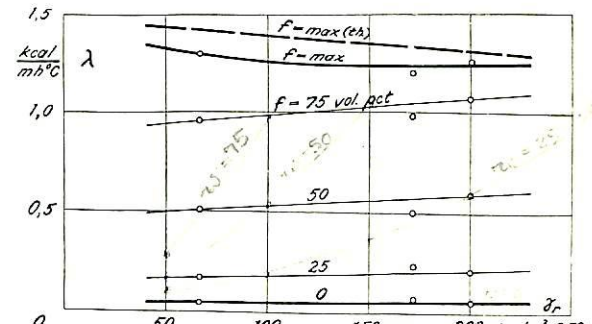


Fig. 34

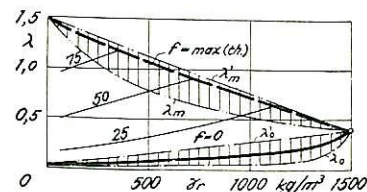


Fig. 34 a

Fig. 33 og 33 a. Fuktig materiale; middeltemperatur + 5° C.

Fig. 34 og 34 a. Frosset materiale; middeltemperatur + 5° C.



Under benyttelse av følgende betegnelser:

- $h$  = hulrumsprocent
- $\lambda_L = 0,021$  kcal/mh ° C, varmeledningstall for luft
- $\lambda_v = 0,5$ , henholdsvis 1,5 kal/mh ° C, varmeledningstall for vann henholdsvis is.
- $\lambda = 2,8$ , henholdsvis 0,4 kcal/mh ° C, varmeledningstall for fast materiale.

får man

a) ved loddrett varmestrom:

1. for tørt materiale ( $f = 0$ )

$$\lambda_0 = \frac{100}{h/\lambda_L + (100-h)/\lambda} = \frac{\gamma}{(\gamma - \gamma_r)/\lambda_L + \gamma_r/\lambda} \text{ kcal/mh } ^\circ \text{ C}$$

2. for materiale med maksimalt vanninnhold

$$\lambda_m = \frac{\gamma}{(\gamma - \gamma_r)/\lambda_v + \gamma_r/\lambda} \text{ kcal/mh } ^\circ \text{ C}$$

b) For *parallel* varmestrom finnes ikke noen teoretisk maksimalverdi for varmeledningstallet, idet det ved store materialtykkelser vil øke noenlunde proporsjonalt med tykkelsen på grunn av konveksjon og stråling. For allikevel å kunne tegne opp kurver er varmeledningstallene  $\lambda'_0$  og  $\lambda'_m$  utelukkende basert på den rene varmeledning. Man får da (konveksjon og varmestraling ikke medregnet):

1. for tørt materiale

$$\lambda'_0 = \lambda_L \cdot (1 - \gamma_r/\gamma) + \lambda \gamma_r/\gamma \text{ kcal/mh } ^\circ \text{ C}$$

2. for materiale med maksimalt vanninnhold

$$\lambda'_m = \lambda_v \cdot (1 - \gamma_r/\gamma) + \lambda \gamma_r/\gamma \text{ kcal/mh } ^\circ \text{ C}$$

De på denne måte beregnede grensekurver for varmeledningstallene ved vanninnhold 0 og maks. er inntegnet som tynne linjer i fig. 31 til 34. Fellet mellom de to grensekurver for  $f_{maks}$ . er skraffert i alle figurer. For  $f_0$  er fellet mellom grensekurvene bare skraffert i fig. 33 a og 34 a.

D. Beregning av kuldemagasinierende evne.

Det tørre materiales kuldemagasinierende evne i kcal/m<sup>3</sup> er produktet av materialenes spesifikke varme pr. rumenhet og temperatursenkningen i materialet. Den spesifikke varme i kcal/° C m<sup>3</sup> er lik produktet  $\gamma_r \cdot c_t$ , hvor  $\gamma_r$  er det tørre materiales rumvekt i kg/m<sup>3</sup> og  $c_t$  dets spesifikke varme i kcal/kg ° C.

Verdien for  $c_t$  finnes for de fleste materialer oppgitt i håndbøkene, og blev derfor ikke særskilt bestemt. Rumvektens måling er angitt under avsnitt II B ( $\gamma_r$ ,  $c_t$  og  $\gamma_r \cdot c_t$ , se tabell I side 106).

For helt tørt materiale er den magasinerte kuldemengde ved en temperatursenkning fra  $+t_1$  til  $\div t_2$ :

$$q_t = \gamma_r \cdot c_t \cdot (t_1 + t_2) \text{ kcal/m}^3$$

For fuktig materiale får den kuldemagasinierende evne et tillegg på grunn av vanninnholdets nedkjøling, frysning og isens videre nedkjøling. Da vannets spesifikke varme  $c_v = 1$  kcal/kg ° C, vannets frysevarme  $r = 80$  kcal/kg og den spesifikke varme for is  $c_i = 0,5$  kcal/kg ° C, er vanninnholdets andel i kuldemagasineringen for 1 kg vann og temperatursenkningen fra  $+t_1$  til  $\div t_2$  ° C gitt ved summen

$$c_v \cdot t_1 + r + c_i \cdot t_2 = t_1 + 80 + 0,5 t_2 \text{ kcal/kg}$$

Ved et vanninnhold av  $f$  vol.pct., svarende til 10  $f$  kg pr. m<sup>3</sup> materiale, er den i vanninnholdet magasinerte kuldemengde pr. m<sup>3</sup> materiale

$$q_f = 10 f (t_1 + 80 + 0,5 t_2) \text{ kcal/m}^3$$

Et materiale av vanninnhold  $f$  vol.pct. har altså i temperaturintervallet fra  $+t_1$  til  $\div t_2$  en samlet kuldemagasinierende evne

$$q = q_t + q_f = \gamma_r \cdot c_t (t_1 + t_2) + 10 f (t_1 + 80 + 0,5 t_2) \text{ kcal/m}^3$$

Da  $q$  er avhengig av  $t_1$  og  $t_2$ , nødvendiggjør utregningen av  $q$  at  $t_1$  og  $t_2$  tallmessig fikseres. I overensstemmelse med de middelveirdier som blev observert under noen målinger i marken vinteren 1936/37 er for den videre fremstilling valgt å sette

$$+t_1 = +2^\circ \text{ C og } \div t_2 = \div 2^\circ \text{ C}$$

Man får da  $q = q_t + q_f = 4 \gamma_r \cdot c_t + 830 f$  kcal/m<sup>3</sup>.  $q_f$  er på fig. 37 optegnet under abscisseaksen avhengig av fuktigheten  $f$ .

Ved utregning av  $q$  vil man se at  $q_f$  spiller en avgjørende rolle. I tunge materialer som grus og sand magasinerer allerede 1,5 vol.pct. fuktighet like meget kulde som det tørre materiale, og for de lettere materialer av organisk opprinnelse er det samme tilfelle med fuktighet allerede under 0,5 vol.pct.

Med hensyn til fuktigheten selv, så skyldes dens kuldemagasinierende evne  $q_f$  for ca. 95 % vedkommende vannets frysevarme  $r$ . Fuktighetens frysevarme  $r$  vil derfor allerede ved en fuktighet på et par vol.pct. gi det største bidrag til den samlede kuldemagasinierende evne  $q$ , og for materialer med store fuktigheter vil ca. 90 % av hele kuldemagasineringen skyldes fuktighetens frysevarme.

(Hadde man fiksert summen ( $t_1 + t_2$ ) større, vilde tørrstoffet ha spillet noe større procentuell rolle, men selv ved ( $t_1 + t_2$ ) = 20° vil ca. 10 vol.pct. fuktighet selv ved de tunge materialer magasinere mer kulde enn tørrstoffet.)

IV. Bedømmelse av forsøksresultatene.

A. Teoretisk behandling.

I avsnitt I er gitt en kort oversikt over de vanskeligheter man står overfor når man på basis av materialenes målte egenskaper skal trekke noen slutninger om hvad man kan opnå ved benyttelse av de forskjellige materialer under masseutskifting.

For så vidt mulig å gi noen mer konkrete holdpunkter for bedømmelsen av materialene, skal der i det følgende anstilles noen teoretiske, men sterkt forenklete betraktninger over frostens forplantnings-hastighet ned gjennom et materiallag.

1) Spesifikk frostledningsmotstand som materialkonstant.

Man tenker sig som vist på fig. 35 at et materiallag av tykkelse  $\delta$  ligger på et underlag fra hvilket man kan se bort fra varmeutveksling til materialet, og

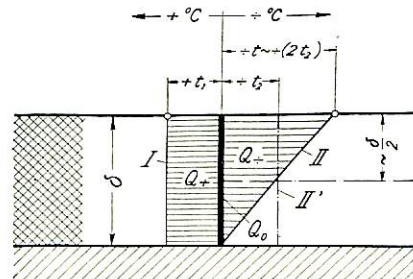


Fig. 35. Temperaturforløp og magasinerte kuldemengde i et enkelt materiallag efter en bestemt senkning av øvre overflates temperatur.



at materialets temperatur til å begynne med er  $+t_1$  °C gjennom hele tykkelsen. Man vil da på nedenstående meget enkle måte kunne regne ut hvor lang tid  $z$  det vil ta før materialet er frosset i hele sin dybde, hvis dets øvre overflate utsettes for en konstant varig temperatursenkning til en temperatur  $\div t$  °.

I det øieblikk efter tiden  $z$  da hele laget er frosset, vil temperaturen i materialet forløpe efter en kurve II som i de fleste tilfelle vil være praktisk talt rett.

Materialet vil da ha magasinert en kuldemengde  $Q$  = summen av de på figuren fremstilte kuldemengder  $Q_+$ ,  $Q_0$  og  $Q_-$ . Her er

$$Q_+ = (\gamma_r \cdot c_t \cdot t_1 + 10 f \cdot t_1) \cdot \delta \text{ magasinert over } 0^\circ \text{C.}$$

$$Q_0 = 800 f \cdot \delta = \text{fuktighetens frysevarme.}$$

$$Q_- \text{ meget nær} = (\gamma_r \cdot c_t \cdot t/2 + 5 f \cdot t/2) \cdot \delta \text{ magasinert under } 0^\circ \text{C.}$$

Innsettes  $t_2$  istedenfor  $t/2$  blir  $Q_+ + Q_-$  = den i avsnitt III C beregnede  $q \cdot \delta = (q_t + q_f) \cdot \delta$ .

Av fig. 35 sees at kuldemengdene  $Q_+$  og  $Q_0$  i middel må ledes gjennom den halve materialtykkelse  $\delta/2$ , mens  $Q_-$  må ledes gjennom  $\delta/3$ . Beregningen av tiden  $z$  kan gjennomføres under hensyntagen hertil, men da  $Q_-$  i forhold til  $Q$  i praksis vil være meget liten, gjør det bare en ubetydelig feil om man regner som om hele kuldemengden  $Q$  ledes gjennom  $\delta/2$ . Dette tilsvarer at den trekant av høide ( $2t_2$ ) som fremstiller  $Q_-$  erstattes med et rektangel av høide  $t_2$ .

Av varmemengdene  $Q_+$ ,  $Q_0$  og  $Q_-$  magasineres varmemengden  $Q_0$  ved 0 °C, mens  $Q_+$  i gjennomsnitt magasineres ved temperaturen  $+1/2 t_1$  og  $Q_-$  i gjennomsnitt ved  $\div 2/3 \cdot t_2$ . Man gjør her også bare en forsvinnende feil ved å regne som om hele  $Q$  magasineres ved 0 °C.

Den gjennomsnittlige temperaturredifferanse som leder kulden inn, vil derfor kunne settes =  $t$ .

I det øieblikk frosten har nådd en vilkårlig dybde  $x$  vil man således kunne sette:

$$dz = dQ \cdot \frac{x}{\lambda \cdot t} = \frac{q}{\lambda t} \cdot x \cdot dx$$

$$x = \delta$$

$$\text{Herav finnes } z = \frac{q}{\lambda t} \int_0^\delta x \cdot dx = \left( \frac{1}{t} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{q}{\lambda} \right) \cdot \delta^2$$

Tiden  $z$  blir altså proporsjonal med kvadratet av  $\delta$ , enn videre proporsjonal  $q$  og omvendt proporsjonal  $\lambda$  og  $t$ .

Ligningen kan omskrives, hvorved man får

$$z \cdot t = \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{q}{\lambda} \right) \delta^2, \text{ med dimensjon } h \cdot ^\circ \text{C}$$

Denne ligning sier at frosten for å trenge gjennom materialet behøver en temperatur i overflaten  $\div t$  °, som multiplisert med tiden  $z$  må gi som produkt

$$\left( \frac{1}{2} \cdot \frac{q}{\lambda} \right) \delta^2$$

Inneholder materialet vesentlig fuktighet, vil man av foranstående ligninger ser at man, når  $\div t$  varierer,

$$\text{stedentfor } z \cdot t \text{ kan sette } \int_0^z t \cdot dz.$$

Dette vil si at materiallaget motstår frostens gjennemtrenning når i løpet av vinteren den del av overflatens temperaturkurve som ligger under

$$0^\circ \text{C har et flateinnhold som er mindre enn } \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{q}{\lambda} \right) \delta^2$$

(under hensyntagen til målestokken).

I disse formler kan forholdet  $q/\lambda$  betraktes som en materialkonstant som under fastsettelse av passende verdier for  $+t_1$  og  $\div t_2$  kan angis med et enkelt tall for hvert materiale hvis rumvekt og fuktighet er fiksert.

Da materialets motstand mot frostens nedtrengning i dette teoretisk enkleste tilfelle bare er avhengig av  $q/\lambda$  (foruten av tykkelsen  $\delta$ ), vil vi innføre som definisjon

$$q/\lambda = \text{spesifikk frostledningsmotstand } \omega, \text{ dimensjon } h \cdot ^\circ \text{C/m}^2$$

Under utregningen av  $\omega$  må for  $\lambda$  innsettes varmeledningstallet for frosset materiale, som praktisk talt hele varmebortledningen foregår gjennom. (Bare ved de aller minste fuktigheter vil en procentuell stor del av varmebortledningen foregå gjennom ikke frosset materiale, men dette bevirker ingen synderlig feil, da det ved disse små fuktigheter ikke er stor forskjell mellom varmeledningstallet i optinet og i frosset tilstand.)

## 2. Frysemotstanden for et materiallag anvendt under masseutskiftning.

Beregningen av den spesifikke frostledningsmotstand er basert på at materiallagets øvre overflate-temperatur er kjent. I praksis vil imidlertid materialtemperaturen ikke kunne benyttes som beregningsgrunnlag, da den for det første ikke måles, og den for det annet vil kunne være høist forskjellig for forskjellige materialer, selv om de anvendes under nøiaktig samme betingelser. Det eneste grunnlag man har er lufttemperaturen og de øvrige betingelser med hensyn til sne, over liggende lag, grunn o.s.v. må fastsettes like når to materialer skal sammenlignes. For å søke å trenge gjennom disse vanskeligheter vil vi behandle det praktiske eksempel som er fremstillet i fig. 36.

På figuren er utskiftningslagets tykkelse betegnet  $\delta$ . Over laget ligger et annet lag og over det igjen f. eks. sne. For å finne den motstand utskiftnings-

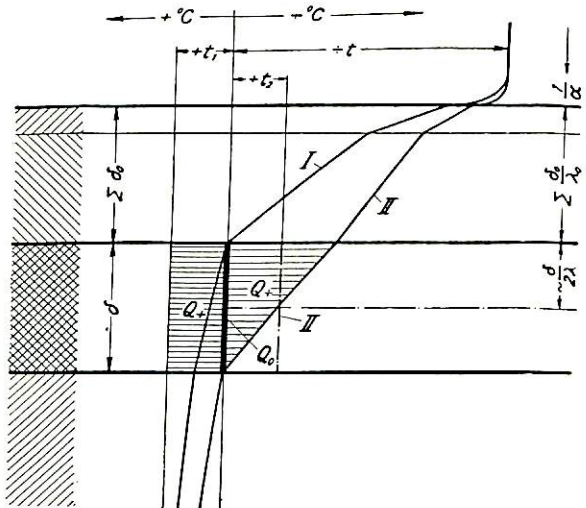


Fig. 36. Temperaturforløp og magasinerte kuldemengde i flere over hinannen liggende materiallag efter en bestemt senkning av lufttemperaturen.



laget yder mot frostgjennemtrenningen, vil vi først bare behandle den tid  $z_{11} \div z_1$  som frosten bruker for å gjennemtrenge selve utskiftningslaget.

I tidspunktet  $z_1$  vil temperaturen nedover forløpe som kurve I og i tidspunkt  $z_{11}$  som kurve II. På grunn av at de forskjellige lag har forskjellige varmeledningstall, har kurvene en knekk på hvert sted hvor de skjærer grenselinjen mellom to materialer. Innenfor hvert materiale er kurvene krumme p. g. a. at kulde stadig magasineres i alle materiallag. Da imidlertid den kulde som magasineres på det sted hvor hver kurve skjærer linjen for  $0^\circ\text{C}$  vil utgjøre den aller største del av den samlede kuldemagasinerings (kfr. avsnitt III C), vil krumningen av de enkelte kurvestykker i hvert materiale bare være meget svak. Ved  $0^\circ\text{C}$  har kurvene også en sterk knekk som følge av den store kuldemengde  $Q_0$  som magasineres ved frysningen av fuktigheten.

I tidsintervallet  $z_{11} \div z_1$  magasinerer utskiftningslaget kuldemengdene  $Q_0$  og  $Q_+$  i sin helhet. Derimot magasineres bare en del av kuldemengden  $Q_+$ , resten av  $Q_+$  er magasinert tidligere.

For øvrig magasineres kulde mellom kurvene I og II såvel over som under utskiftningslaget. Disse siste kuldemengder må vi foreløpig betrakte som denne beregning uvedkommende (kfr. senere).

Den del av  $Q_+$  som magasinertes før tidspunktet  $z_1$  har forlenget den tid temperaturkurven trengte for å bli kurve I, og denne tidsforlengelse er en for tjeneste av utskiftningsmaterialet og telles med ved at man regner som om hele  $Q_+$  også er magasinert mellom tidspunktene  $z_1$  og  $z_{11}$ .

For å komme fra luften ned i materiallaget må den innstrømmende kulde  $Q$  først overvinne overgangsmotstanden  $1/\alpha$  fra luft til sne, derpå varmeledningsmotstanden gjennom sne og over liggende lag  $\Sigma(\delta_0/\lambda_0)$ , og til slutt varmeledningsmotstanden i en del av materiallaget.

I det øieblikk frosten er nådd ned en vilkårlig dybde  $x$  i materiallaget, er altså den samlede varmeledningsmotstand:

$$\left(\frac{x}{\lambda} + \frac{1}{\alpha} + \Sigma \frac{\delta_0}{\lambda_0}\right)$$

Hvis vi nu igjen erstatter trekanten  $Q_+$  med et rektangel, får man:

$$dz = \frac{dQ}{t} \cdot \left(\frac{x}{\lambda} + \frac{1}{\alpha} + \Sigma \frac{\delta_0}{\lambda_0}\right) = \frac{q \cdot dx}{t} \left(\frac{x}{\lambda} + \frac{1}{\alpha} + \Sigma \frac{\delta_0}{\lambda_0}\right)$$

Integreres  $dz$ , fåes:

$$\begin{aligned} (z_{11} - z_1) &= \frac{q}{t} \int_{x=0}^{x=\delta} \left(\frac{x}{\lambda} + \frac{1}{\alpha} + \Sigma \frac{\delta_0}{\lambda_0}\right) dx = \\ &= \frac{q}{t} \left[ \frac{\delta^2}{2\lambda} + \delta \left(\frac{1}{\alpha} + \Sigma \frac{\delta_0}{\lambda_0}\right) \right] \end{aligned}$$

eller:

$$(z_{11} - z_1) t = \frac{\delta^2}{2} \left[ \frac{q}{\lambda} + q \frac{2}{\delta} \left(\frac{1}{\alpha} + \Sigma \frac{\delta_0}{\lambda_0}\right) \right], \text{ dim. } h \cdot ^\circ\text{C}$$

Når  $t$  varierer vil  $(z_{11} - z_1) \cdot t$  kunne erstattes med  $\int_{z_1}^{z_{11}} t \cdot dz$

Under denne siste beregning er fremdeles sett bort fra følgende faktorer, som trenger å omtales, for at man skal kunne avgjøre beregningens gyldighet:

a) Varmestrømmen opover fra grunnen. Den opover strømmende varme er den samme som den kulde som magasineres under utskiftningsmaterialet, altså på fig. 36 mellom linjen for begynnelsestemperaturen  $+t_1$  og temperaturkurve II. Denne kuldemengde vil øke hele materialkombinasjonens frostgjennemtrenningsmotstand.

b) På samme måte virker den kuldemagasinerende evne av de over liggende lag. Foruten at disse lag selv har en frysemotstand  $\Sigma \Omega_0$  som frosten først trenger en tid fra  $z_0$  til  $z_1$  for å overvinne, vil lagene også magasinerer noen kulde i tidsrummet  $z_1$  til  $z_{11}$  og derfor forlenge dette tidsrum. Forlengelsen vil dog være nokså ubetydelig. Den totale tid som frosten må ha for å trenge gjennom utskiftningsmaterialet blir således fra  $z_0$  til  $z_{11}$ , hvorav tidsrummet ( $z_0$  til  $z_1$ ) lar sig beregne på nøyaktig tilsvarende måte som tidsrummet ( $z_1$  til  $z_{11}$ ).

Skal man bare ha et grunnlag for sammenligning mellom forskjellige utskiftningsmaterialer, vil man imidlertid ikke behøve å blande inn de øvrige materiallags kuldemagasinerings. Riktig nok kan utskiftningsmaterialet i noen grad påvirke mengden av den for øvrig magasinerte kulde, men dette kan man for nærværende ikke gå videre inn på, og man må anta at det heller ikke har noen særlig betydning for den relative bedømmelse av forskjellige materialer.

c) Man vil nu spørre om hvordan det går etter tidspunkt  $z_{11}$ ? Hvis lufttemperaturen  $t$  fortsatt holder sig under  $0^\circ\text{C}$ , vil frostens nedtrengen fortsette. Stiger  $t$  i tidspunkt  $z_{11}$  over  $0^\circ\text{C}$ , vil frostnedtrengningen også fortsette, men bare en ganske kort tid. Den under  $0^\circ$  magasinerte kuldemengde  $Q_+$  vil nemlig da strømme delvis opover i luften igjen og delvis videre nedover. Da imidlertid  $Q_+$  i almindelighet er forsvinnende liten, spiller dette ingen praktisk rolle.

d) I praksis skifter temperaturen i luften og likeså i jordoverflaten etter en tilnærmet sinusformet kurve, og nedover i dybden forløper temperaturkurven i svingninger. Den i foregående beregning forutsatte konstante begynnelsestemperatur  $+t_1$  vil således ikke forekomme i praksis. Man må allikevel anta at temperaturkurven ned gjennom jorden om høsten før frosten setter inn i de fleste tilfelle for jordens øverste lag har flatet sig så pass ut at antagelsen om en konstant temperatur  $t_1$  ikke skulde ha noen særlig feil til følge. Man må igjen her erindre hvilken ubetydelig rolle de varmemengder spiller som magasineres over  $0^\circ\text{C}$ , i forhold til frysevarmen av materialenes fuktighet, se fig. 37.

Uttrykket for  $(z_{11} - z_1) \cdot t$  skulde ifølge foranstående diskusjon nokså nært svare til den motstand et materiallag av tykkelse  $\delta$  virkelig yder mot frosten under sin praktiske anvendelse. Vi har derfor kalt uttrykket for  $(z_{11} - z_1) \cdot t$  for *materiallagets virkelige frostgjennemtrenningsmotstand* eller kortere *frysemotstand*  $\Omega$ , dimensjon  $h \cdot ^\circ\text{C}$ .

Ved innsetning av  $\omega$  istedenfor  $q/\lambda$  fåes:

$$\Omega = \frac{\delta^2}{2} \left[ \omega + \frac{2}{\delta} \left(\frac{1}{\alpha} + \Sigma \frac{\delta_0}{\lambda_0}\right) \cdot q \right]$$

Når man betrakter uttrykket for  $\Omega$ , ser man at det under en sammenligning mellom forskjellige materialer bør tas hensyn til såvel  $q$  som  $\omega$ . Hvilken av de to materialkonstanter som blir å ta mest hensyn til, avhenger av materialets anvendelse. Ved liten materialtykkelse  $\delta$  bør det således tas vesentlig hensyn til  $q$  og særlig blir dette tilfelle når materiallaget har andre materiallag liggende over sig. I slike tilfelle vil antagelig  $q$  i almindelighet



spille en adskillig større rolle enn  $\omega$  for frysemotstanden  $\Omega$ . Det gunstigste materiale finnes når  $\omega$  summeres med

$$q \cdot \frac{2}{\delta} \left( \frac{1}{\alpha} + \sum \frac{\delta_0}{\lambda_0} \right)$$

### B. Forsøksresultatene sett på bakgrunn av den teoretiske behandling.

På fig. 37 er  $\omega$  for de undersøkte materialer optegnet opover og  $q$  nedover. Kurvene for  $\omega$  viser et maksimum ved en bestemt mindre fuktighet.

det straks i øinene at de lettere materialer har minst dobbelt så stor  $\omega$  som de tunge, praktisk talt uavhengig av fuktigheten.

Med hensyn til  $q$  så er den for samme fuktighet derimot praktisk talt lik for alle materialer, bortsett fra helt eller nesten tørt materiale.

Ved en relativ bedømmelse må man ta hensyn til den fuktighet materialet selv innstiller sig på under de fastsatte betingelser. Denne fuktighet er forskjellig for forskjellige materialer. Man har her et holdpunkt i den adsorpsjonsmettede tilstand som for hver kurve er angitt ved en åpen sirkel.

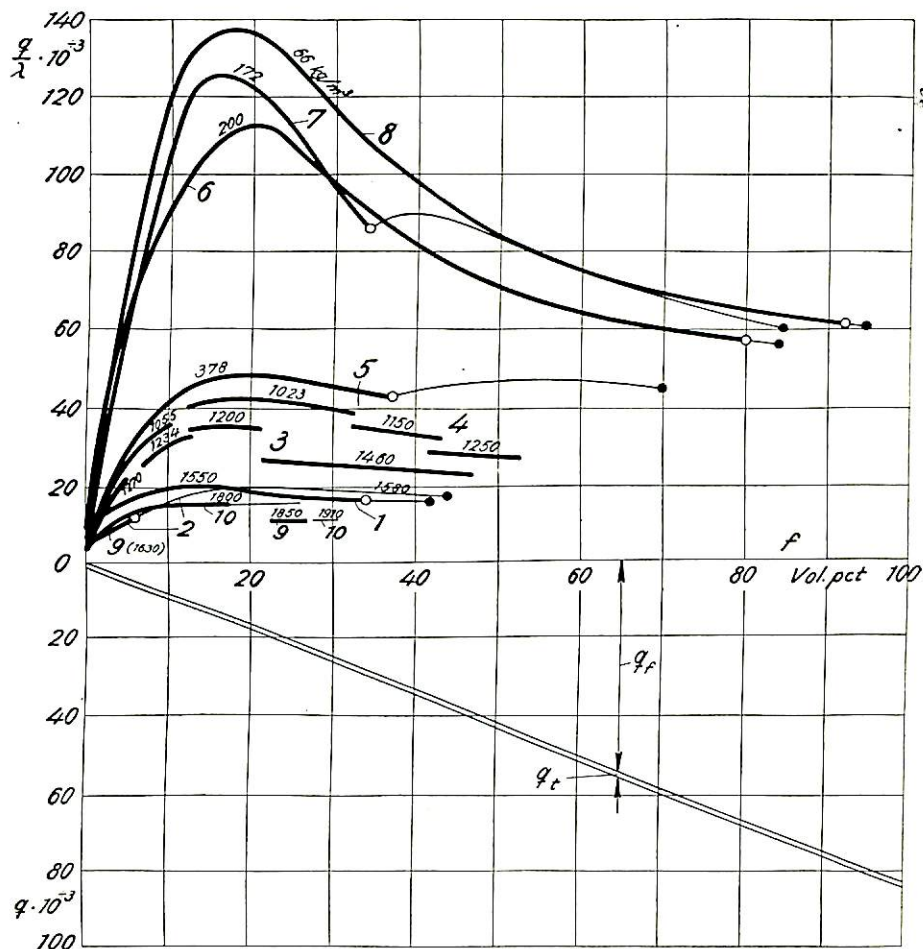


Fig. 37. Spes. frostledningsmotstand  $\omega$  og kuldemagasinierende evne  $q$  optegnet for de undersøkte materialer som funksjon av fuktigheten  $f$  i vol.pct.  $\omega$  = forholdet mellom kuldemagasinierende evne  $q$  og varmeledningstall  $\lambda$  er fra abscisseaksen avsatt opover.  $q$  (som er beregnet for temperaturintervallet  $+2^\circ$  til  $+2^\circ$  C) er som summen av  $q_t + q_f$  avsatt nedover. ( $q_t$  er inntegnet for den optredende maksimale verdi ved kuppelstein. Den minimale verdi ved torvstrø er ca.  $1/10$  del av maks.verdien, se tabell 1).

Regnet fra dette maksimum synker  $\omega$  ved avtagende fuktighet til en meget lav verdi. Ved økende fuktighet er synkningen adskillig langsommere. Herav kan man allerede trekke den viktige slutning at fuktigheten under ingen omstendighet bør være mindre enn den som ved vedkommende materiale gir maks.

$\omega$ . Fig. 37 viser at når  $\frac{2}{\delta} \left( \frac{1}{\alpha} + \sum \frac{\delta_0}{\lambda_0} \right)$  er større enn 1

(hvilket i almindelighet vil være tilfelle), fåes den største  $\Omega$  ved  $f = f_{\text{maks}}$ . Dette resultat er meget bemerkelsesverdig.

\* Vil man nu ved hjelp av fig. 37 foreta en sammenligning mellom de undersøkte materialer, så faller

### C. Sluttbemerkninger.

Ved bedømmelsen av de forskjellige materialer, må man være oppmerksom på at materialene etter hvert pakkes sammen, hvorved materialtykkelsen etter hvert kan reduseres betraktelig, og frysemotstanden  $\Omega$  derfor omtrent tilsvarende synker. Særlig vil antagelig dette bli tilfelle med de av materialene av gruppe C som har de laveste rumvekter. Når materialet sammenpresses, vil også fuktighetsmengden, som for disse materialer magasinerer praktisk talt hele kuldemengden delvis presses ut. Frysemotstanden vil derfor av hver av følgende tre grunner gå tilbake:  $\delta$  reduseres,  $q$  reduseres og  $\lambda$  øker.

De konklusjoner som foran er trukket med hensyn



til materialenes gunstigste fuktighet, gjelder bare med henblikk på frostledningsmotstanden. Hvilke fuktigheter som med henblikk på telehiving kan tillates, er en ting for sig som det for tiden ikke foreligger tilstrekkelig grunnlag til å avgjøre. Dette spørsmål vil først kunne besvares efter systematiske forsøk i praksis. Det samme er tilfelle med spørsmålet om innen hvilke grenser fuktigheten under de forskjellige befindeelser vil variere, f. eks. hvor store de vanlige fuktigheter er i forhold til fuktighetsinnholdet i adsorptionsmettet tilstand. Praktiske forsøk er også nødvendige for sammenligning og kontroll av den på ren teoretisk basis funne frysemotstand.

Av disse grunner blev det siste vinter for å høste erfaringer, utført en del forsøk med materialer som blev nedgravd i jorden utenfor varmekraftlaboratoriet, og forsøkene er blitt fortsatt denne vinter. Tidspunktet er imidlertid for tidlig til at noe resultat kan meddeles.

### V. Zusammenfassung (in deutscher Sprache).

Die vorliegende Arbeit dient der Bestimmung des Wärmeleitvermögens und anderer physikalischer Eigenschaften von Stoffen, die im Weg- und Eisenbahnbau als Austauschstoffe Anwendung finden.

Die Untersuchung umfasst folgende 10 Stoffe:

Von *anorganischen* Stoffen (Gruppe A):

Grus, Sand und Steine, ausserdem, zum Vergleich, lehmhaltige Erde und Lehm,

von *Abfallstoffen aus Feuerungen* (Gruppe B):

Asche mit Schlacke und Lokomotiv-Flugasche, von *Stoffen organischen Ursprungs* (Gruppe C):

Moor, Torfstroh und Holzkohle.

Zur Kennzeichnung der Körnung wurden die untersuchten Stoffe fotografiert (Abb. 2 bis 11). Weiterhin wurden folgende physikalischen Eigenschaften bestimmt (Z. T. 1): Spezifisches Gewicht, Raumgewicht, Hohlraumprozent, Adsorptions-Wasserinhalt, Kapillarität, Korngrösse (vgl. Sichte-kurven Abb. 12 bis 18).

Das Wärmeleitvermögen wurde abhängig vom Wasserinhalt bestimmt für Temperaturen über und unter 0° C, unter Anwendung eines für diese Untersuchungen gebauten Einplatten-Apparates, Abb. 1.

Die Versuchsbeobachtungen finden sich in den Zahlentafeln 2 bis 11, die Wärmeleitahlen sind in Abb. 19 bis 28 aufgezeichnet, abhängig von Mitteltemperatur und Wasserinhalt des untersuchten Stoffes.

Bei Temperaturen über 0° C steigt die Wärmeleitahl der meisten Stoffe in dem untersuchten Gebiete (bis + 25° C) annähernd geradlinig mit zunehmender Mitteltemperatur. Sehr grobkörnige Stoffe mit hohem Wasserinhalt bilden doch eine Ausnahme. Bei diesen Stoffen spielt in gesättigtem Zustand der Temperaturunterschied eine grosse Rolle, (siehe z. B. Steine, Abb. 22).

Beim Uebergang von feuchtem in gefrorenen Zustand ändert sich die Wärmeleitahl sprunghaft infolge des Unterschiedes der Wärmeleitahlen von Eis ( $\lambda = 1.5$ ) und Wasser ( $\lambda = 0.5$ ). Die Grösse des Sprunges ist für die verschiedenen Stoffe verschieden und abhängig vom Feuchtigkeitsgrad. Für die meisten Stoffe ist  $\lambda$  in gefrorenem Zustand grösser. Bei einzelnen Stoffen wie z. B. Grus und Sand, Abb. 19 u. 21, zeigt sich bei geringer Feuchtigkeit eine Abnahme. Die Erklärung muss darin liegen, dass das Wasser in einer Weise Brücken für die Wärmeüberführung zwischen den

einzelnen Stoffkörnern bildet, und dass diese Brücken beim Gefrieren durch Bildung von Eiskristallen teilweise zerstört werden.

Bei sämtlichen Stoffen steigt die Wärmeleitahl mit zunehmender Feuchtigkeit.

Das Hauptergebnis der Untersuchungen betreffs Wärmeleitvermögens ist in den Abb. 29 und 30 zusammengefasst, in denen die Wärmeleitahl sämtlicher untersuchten Stoffe, abhängig vom Wasserinhalt in Raumteilen dargestellt ist, und zwar Abb. 29 für Temperaturen von + 5° C und Abb. 30 für Temperaturen von - 5° C. Die einzelnen Kurven gelten für unveränderliches Raumgewicht. (Für Stoffe, bei denen sich das Raumgewicht durch Wasserzusatz ändert, sind mehrere Kurven eingetragen.) Auf den Kurven sind die Wärmeleitahlen, die dem Zustand völliger Sättigung entsprechen, durch grössere Punkte hervorgehoben. Die Kurven zeigen bei dem der Adsorptionssättigung entsprechenden Wasserinhalt einen Knick, da bei Erhöhung des Wasserinhaltes über diesen Wert eine Schichtbildung eintritt, indem sich eine untere mit Wasser gesättigte Schicht und eine obere adsorptionsgesättigte Schicht bildet.

Zur Kennzeichnung des Zusammenhanges zwischen Wärmeleitahl, Raumgewicht und Feuchtigkeit ist in den Abb. 31 bis 34 die Wärmeleitahl abhängig vom Raumgewicht in Kurven unveränderlichen Wasserinhaltes aufgezeichnet. Auf Grund des verschiedenen Aufbaus und der verschiedenen Art der untersuchten Stoffe können die Versuchsergebnisse natürlich nur annähernd in gemeinsamen Kurven zusammengefasst werden.

Das Eindringen des Frostes ist ausser von der Wärmeleitahl auch von der Kältespeicherung für den m<sup>3</sup> abhängig. Diese setzt sich zusammen aus dem Produkt von spezifischer Wärme, Raumgewicht und Temperaturunterschied und der Gefrierwärme des Wasserinhaltes.

Das Kältespeicherungs-Vermögen ist bei den praktisch auftretenden Temperaturen selbst bei ganz geringer Feuchtigkeit zum grössten Teile von der Gefrierwärme des in dem Stoffe enthaltenen Wasser abhängig. Das Verhältnis der Kältespeicherung und der Wärmeleitahl  $\lambda$  des gefrorenen Stoffes bildet einen Masstab für die Fähigkeit des Stoffes dem Eindringen des Frostes zu widerstehen. Dieses Verhältnis, das wir als *spezifischen Frostleitungswiderstand*  $\omega = q/\lambda$  bezeichnen, wurde in Abb. 37 für sämtliche untersuchten Stoffe abhängig vom Wasserinhalt aufgezeichnet. Die Abbildung gibt ein wichtiges relatives Bild der verschiedenen untersuchten Stoffe und Stoffgruppen hinsichtlich ihrer Fähigkeit das Eindringen des Frostes zu verzögern.

Aus der Darstellung geht hervor, dass sämtliche Stoffe in trockenem Zustand geringsten Widerstand gegen eindringenden Frost leisten. Der grösste Widerstand tritt bei einem bestimmten Wassergehalt auf, steigt der Wassergehalt über diesen Wert, nimmt der Widerstand wieder ab.

Bei der praktischen Anwendung der Stoffe wird das Problem durch mehrere Umstände komplizierter. Ueber dem Austauschstoffe liegen andere Stoffschichten, deren Wärmeleitwiderstand den Gesamtwiderstand erhöht. Das gleiche gilt für den Uebergangswiderstand der Luft.

Um unter Berücksichtigung der verschiedenen Stoffschichten eine praktisch brauchbare Berechnung zu schaffen, wurde für den Widerstand einer willkürlichen Stoffschicht gegen Eindringen des Frostes, angewandt en willkürlicher Stelle, (ver-



kürzt als *Frostwiderstand* bezeichnet) folgender angenäherter Ausdruck aufgestellt:

Hierin ist:

$$\Omega = \frac{\delta^2}{2} \left[ \omega + \frac{2}{\delta} \left( \frac{1}{\alpha} + \sum \frac{\delta_0}{\lambda_0} \right) \cdot q \right]$$

$\delta$  = Dicke des Austauschstoffes in m.

$\omega = \frac{q}{\lambda}$  = spezifischer Frostleitungswiderstand des Austauschstoffes.

$\sum \frac{\delta_0}{\lambda_0}$  = Wärmeleitwiderstand der Stoffschichten über dem Austauschstoff.

$\frac{1}{\alpha}$  = Uebergangswiderstand der Luft an der Erdoberfläche.

Mit Hilfe des Frostwiderstandes lässt sich, bei Kenntnis der Jahres-Temperaturkurve annähernd berechnen, in welcher Dicke ein Austauschstoff zu verwenden ist, der an willkürlicher Stelle verhindern soll, dass der Frost in die unterliegende Stoffschicht eindringt. Für die Berechnung der Austauschtiefe spielt die Feuchtigkeit des Austauschstoffes eine grosse Rolle. Es liegen leider noch keine systematischen Untersuchungen vor, die festlegen, mit welcher Feuchtigkeit bei der Anwendung von Austauschstoffen in den verschiedenen Fällen zu rechnen ist.

Zur Feststellung diesen Werte und zur Kontrolle der entwickelten Gleichungen in Verbindung mit den gemessenen Wärmeleitzahlen, werden die in dieser Arbeit mitgeteilten Untersuchungen zur Zeit

ergänzt durch Temperatur- und Feuchtigkeitsmessungen für die gleichen Stoffe, von denen jeweils grössere Mengen im Freien in einem besonderen Versuchsfeld eingegraben wurden.

## VI. Litteratur.

[1] *Beskow*, Gunnar: Om isoleringsåtgärder mot tjålskott och tjålskjutning. Svenska Våginstitutet, Stockholm, meddelande nr. 26, 1930.

[2] *Beskow*, Gunnar: Tjålbildningen och tjålyftningen med särskild hensyn till vägar och järnvägar — med fullständig litteraturfortegnelse (s. 218—221) og en engelsk sammenfatning: Soil freezing and Frost Heaving (s. 222—242). Statens Våginstitut, Stockholm, meddelande nr. 48, 1935, og Sveriges geologiska undersökning (S. G. U.) Ser. C. No. 375, 1935 (s. 1935, også Statens Våginstitut, medd. nr. 13, 1929 og 26, 1930).

[3] *Watzinger*, A. og *Kindem*, E.: Om bygningsmaterialers varmeisolering. Det Kgl. Norske Vid. Selskabs Skrifter 1934, nr. 11, Trondheim 1935.

[4] *Krischer*, Otto: Der Einfluss von Feuchtigkeit, Körnung und Temperatur auf die Wärmeleitfähigkeit körniger Stoffe. (Die Leitfähigkeit des Erdbodens.) Beihefte zum Gesundheits-Ingenieur, Reihe 1, Heft 33, 1934.

[5] *Beskow*, Gunnar: Om jordarternas kapillaritet. En ny metod för bestämning av kapillärkraften. S. G. U. Årbok 23 nr. 1 (Serie C, nr. 356) 1929 og Sv. Våginst. medd. nr. 25, 1929.

[6] *Rosenlund*, A. L.: Om jordartenes inndeling. Medd. fra Norges Statsbaner, 1933, s. 7.

## NORSK OG AMERIKANSK LEIRE

Av professor Tom. F. W. Barth.

### I

I «Meddelelser fra Veidirektøren» nr. 4 for iår har avdelingsingeniør Brudal i sin artikkel «Grusleireveier på hjemlig grunn», referert endel teoretiske betraktninger hentet fra Bureau of Public Roads i U. S. A. angående leirer og leirkolloider.

Såvidt forståes er herr Brudals konklusjon den, at godheten av et stabilisert grusdekke ikke bare beror på veimaterialets sammensetning med hensyn til kornstørrelsen, men at det også er av betydning at den leire man tilsetter er «av god kvalitet».

Jeg slutter mig helt og fullt til dette, og kan nevne at man ved det ovenfor citerte Bureau of Public Roads for mange år tilbake var kommet til denne konklusjon, og at man der i stadig stigende grad har lagt vekten på den kjemiske og mineralogiske utforskning av de leirearter som nu benyttes til stabilisering av veidekker. Foruten kjemikere og fysikokjemikere har geologer arbeidet ved «Bureauet», men så sterkt var dog behovet for denne slags kunnskap at nogen av de der ansatte bygningsingeniører i 1931 hos mig (ved George Washington University) tok et fullt kursus med eksamen efter to semestres forløp i mi-

neralogi og petrografi. En av mine elever fra den tid, Mr. D. G. Runner, hvis navn vil være kjent fra tidsskriftet «Public Roads», skrev til mig i mars iår at han og nogen andre nu var gått videre i sine studier og ved universitetet holdt på å lære optisk mineralogi og bruken av det petrografiske mikroskop. Dette viser hvor stor betydning amerikanerne tillegger den kjemiske og mineralogiske utforskning av veimaterialene; og det viser hvor presumptivt fagmessig og vel fundert det arbeide er som utføres av «Bureau of Public Roads».

Meget av det som Bureauet publiserer fortjener derfor sikkerlig å bli bragt til norske veieingeniørers kunnskap, men dog må man huske på at alt er beregnet på amerikanske forhold og derfor bør gjengis med forbehold. En sådan kritisk innstilling savner jeg imidlertid i herr Brudals artikkel, og det synes også som om han er lite orientert når han filosoferer over den betydning de amerikanske teorier har for norske forhold uten å si noget om det mest nærliggende, nemlig om de undersøkelser som er gjort over norske leirer. Sådanne undersøkelser skulde jo i første rekke ha betydning for norsk veibygning. I det minste



burde man undersøke forutsetningen for anvendelsen av de amerikanske teorier på *våre* leirearter. Det er dessverre ikke så enkelt at man kan ta det engelske ord «clay», slå op i et leksikon, finne oversettelsen «leir», og straks tillegge vår norske leir alle de egenskaper som «clay»en i Amerika besitter.

## II

I tiden 1922—26 blev der ved Universitetets Mineralogiske Institutt, mens professor V. M. Goldschmidt ennå var bestyrer, utført en hel rekke undersøkelser av norske leirer.<sup>1)</sup>

For bedre å forstå resultatene av disse undersøkelser må vi først betrakte de almindelige betingelser for at leire kan dannes: To forskjellige geologiske prosesser er da virksomme.

1. Kjemisk forvitring.
2. Mekanisk forvitring.

*Den kjemiske forvitring* krever et varmere klima enn vi har her i norden. Den består i at luft og vann angriper bergarten kjemisk, reagerer med den, oxyderer, utluter, oppløser og bygger op nye kjemiske forbindelser, nye mineraler. Resultatet er da en leire som kjemisk og mineralogisk er forskjellig fra moderbergarten. Kornstørrelsen hos en slik leire er meget fin; de kjemiske reaksjoner foregår jo atom for atom eller i kolloid oppløsning mellom molekylgrupper. Den resulterende leire vil derfor få et høit kolloidinnhold. Herav følger at dens fysiske egenskaper i vesentlig grad vil kunne forklares ut fra kolloidets elektriske egenskaper, fra dets evne til å adsorbere vann eller ioner, slik som gjengitt i «Veidirektørens Meddelelser» efter det amerikanske.

*Den mekaniske forvitring* er rett og slett en finknusing av bergartene. Under de store istider i norden har breene skuret og skrapet det faste fjell, malt det til leire og avsatt det i havet utenfor isrannen. Resultatet er da en glacial-leire som kjemisk og mineralogisk tilsvarende moderbergarten. Nye mineraler er ikke dannet. Moderbergartens feltspat foreligger fremdeles som feltspat; den ligger i leiren som små korn. Kvarts er fremdeles kvarts, og den lyse glimmer er fremdeles glimmer og ligger som små skjell i leiren. Egentlige kolloide partikler dannes ikke ved en slik mekanisk opknusing,<sup>2)</sup> den resulterende leire vil derfor bli

fattig på kolloid materiell. Herav følger at dens fysiske egenskaper selvfølgelig ikke kan være bestemt av kolloidets egenskaper.

I naturen finner vi som oftest leirer av tofoldig opprinnelse, dannet ved en vekselvirkning mellom mekanisk og kjemisk forvitring. En almindelig regel er at jo lengere syd vi kommer, desto mer vil man få leire dannet ved kjemisk forvitring. I Amerika, særlig i de sydlige stater, forekommer alt overveiende kjemisk forvitret leir. Meget finstoff er tilstede, og de typiske leireminerale: kaolin, halloysit, beidellit o. a. finnes alltid.

I Norge forekommer alt overveiende mekanisk forvitret glacial-leire. Forholdsvis lite kolloidstoff er tilstede, og mineralene er akkurat de samme som i moderbergarten — typiske leireminerale, kaolin, etc. — finnes overhodet ikke.

Men hvordan kan man så forklare de «leireaktige» egenskaper, såsom kohasjon eller plasticitet hos den norske leire. Efter de amerikanske teorier var det jo nettop kolloidinnholdet som gav leiren disse egenskaper.

Allerede i 1926 påviste V. M. Goldschmidt (op. cit.) at leirens plastiske egenskaper kunde forklares som en følge av de bladformige mineralers elektriske feltvirkning på vannmolekyler uten at man behøver å anta tilstedeværelsen av særskilte kolloider i leiren. Dette har vært gjentatt av G. Holmsen i hans siste arbeide om leirer.<sup>3)</sup> I de bladformede mineraler danner nemlig krystallatomene et såkalt skiktgitter som bevirker at der til disse mineralers spalteflater vil være knyttet elektriske felter, hvorav vannmolekylene orienteres og bindes. For de norske glacial-leirers vedkommende er de bladformede mineraler alt overveiende glimmer og klorit, og den forskjellige konsistens hos våre leirer beror derfor ikke alene på vanninnholdet og kornstørrelsen, men også på det relative og absolutte mengdeforhold av glimmer og klorit samt størrelsen og orienteringen av disse mineraler.

Resultatet av disse undersøkelser viser altså at de norske leirer (1) i sin kjemiske sammensetning, (2) i sin mineralogiske sammensetning, og (3) i sin sammensetning med hensyn til kornstørrelsen i vesentlig grad avviker fra de leirer man finner i Amerika. Da en leires fysiske egenskaper betinges av de ovenfor nevnte tre faktorer, kan man altså ikke uten videre anta at alt det som gjelder for amerikanske leirer også gjelder for norske leirer. Man må således være opmerksom på at f. eks. ett og samme plasticitetstill hos en amerikansk og en norsk leire på ingen måte garanterer for at de to leirer egner sig like godt til veimateriale. Som avdelingsingeniør Riise<sup>4)</sup> med rette har fremhevet, kan en leire være uskikket

1) Kfr.: V. M. Goldschmidt: Undersøkelser over lersedimenter. Nordisk jordbruksforskning, 4—7 hefte, 1926, s. 434—445.

2) Kolloid er partikler fra 0,000001 mm til 0,0005 mm. De «egentlige» kolloider som gir ophav til de mest typiske adsorpsjonsfenomener er under 0,00005 mm. Av dette finnes lite i glacial-leir. I overensstemmelse hermed er også de adsorberte ionemengder ydest små; Schlünz (Chemie der Erde, Bd. 8, 1933, s. 505) meddeler for glacial-leir 0,04 og 0,05 %.

3) G. Holmsen: Våre leravsetninger som byggegrunn. Norges Geol. Undersøk, nr. 151.

4) «Meddelelser» 1937, s. 134.



som veimaterial, fordi arten av finstoffet er av dårlig kvalitet.

Som foran nevnt, inneholder den glaciale norske leire, i motsetning til den amerikanske, alltid glimmer, hvilket etter amerikansk opfatning gjør den mindre skikket. (Kfr. Progress Report of Project Committee on Stabilized Soil Road Surface, 1935.)

For flere år tilbake var det en stor rettssak i Amerika, fordi en apoteker, som var utsolgt for argyrol-opløsning, i stedet solgte en jodopløsning, fordi han mente at den gjorde samme nytte, da farven var den samme. Patienten blev blind. Den samme brune farve skyldtes altså i det ene tilfelle argyrol, i det annet tilfelle jod, men virkningen var høist forskjellig. En slik feiltagelse beror på manglende sakkunnskap.

### III

Norge er et lite land, og vi kan ikke på alle felter være forrest i forskningsfronten. Men på kjemiens og geologiens område er vi dog også her

såpass sakkyndige at mange feilgrep må kunne undgås.

Det er derfor gledelig at Veidirektørens gamle plan om opprettelse av et veilaboratorium endelig kan realiseres.

Vi må der ha menn med evne og vilje til kritisk å sette sig inn i litteraturen, lære, interpretere, og derved nyttiggjøre sig de erfaringer videnskapen har høstet. For der er meget å lære, ikke minst fra Amerika. Ved systematisk forskning må man søke å finne ut om norsk glacialeire overhodet er ønskelig som veimaterial. Man kan naturligvis prøve sig frem i de enkelte fylker og på den måte kanskje til slutt finne det rette. Men billigere og hurtigere vilde det nok gå om man benyttet menn med i hvert fall nogen kjemisk og geologisk utdannelse, som i Veidirektørens laboratorium kunde planlegge og utføre de fornødne eksperimenter og derav utdra de riktige slutninger.

Oslo, 13. juni 1938.

*Mineralogisk Institutt.*

## VEIENES KURVATUR

*Av dipl. ing. O. Kahrs.*

Opfatningen av veitraceen og i forbindelse dermed av veikurvene har vært meget forskjellig i tidenes løp.

Under den veibygging i vårt land som foregikk i annen haldel av det 18. århundre, da også grunnlaget for det danske landeveisnett blev lagt efter datidens beste metoder, var hovedprinsippet: «den rette linje mellom to punkter er den korteste og er å foretrekke.» Man vilde ha så få kurver som mulig, men for de som ikke kunde undgås var man iallfall i Norge ikke så nøie med radius størrelse.

Det er klart at stigningene på den måte blev meget betydelige. — Stigninger på 1 : 5 og endog 1 : 3 forekom ofte — og transportevnen med hest og kjerre blev derfor liten. Da vår neste store veibyggingsperiode begynte efter modernere prinsipper i annen haldel av det 19. århundre gikk man til den motsatte yderlighet; stigningen blev den store hovedsak — ikke over 1 : 20 —. Veidirektør Krag forklarte det nye prinsipp med sin bekjente lignelse om grytehanken, før stod den op og ned, nu blev den lagt over på siden. Det skulde derved bevises at veiene blev ikke lengere enn før, bare lagt på en annen måte. Billedet var ikke korrekt, de nye veier blev nok adskillig lengere.

I mens begynte jernbanene å bre sig i Norge og veienes betydning blev av sekundær art; de blev bygget så billig som mulig og våre veier fra 1890-årene og så å si til idag blev relativt flate og med utrolig mange kurver.

Nu holder endelig nye synspunkter langsomt på å trenge sig frem.

Kurvene blev i 1890-årene som regel bygget med konstant radius uten utvidelser, stigningsreduksjon eller overhøider.

Da bilene begynte å komme var det endog enkelte veiingeniører som bygget kurver med variabel radius for å gjøre det vanskelig for bilistene og derved tvinge dem til å kjøre forsiktig. Antagelig kunde derved spares noen masser også, det er vel iallfall formentlig grunnen til at en kurve på Drammensveien ved Dikemarkvannene — høire kurve i retning mot Drammen — inntil den blev utvidet for få år siden — var stukket på denne måte, thi den del av den «nye» Drammensvei var bygget før bilenes tid i Norge. For den ukjente var denne kurve alltid farlig og det fortaltes at Dikemarkpleierne og pleierskene pleide å spassere dit om søndagene for å se på ulykker.

Efter hvert som bilene blev almindelig og man skjønnte at de ikke bare var luksus, men nyttige, ja kom til å utgjøre den alt overveiende del av trafikken holdt naturligvis denslags trakaserier op og nu er man iallfall teoretisk på det rene med at alle kurver må ha overhøide og (tør vi enda si må?, må vi ikke nøie oss med bør) utvidelse av bredden. Med den praktiske gjennomførelse har det mangsteds vært så som så og virkelig helt moderne kurver sett med en bilists øine finnes der enda så få av at de endog lett kan telles.

I det siste er det nu i forbindelse med de stadig



økende hastigheter dukket op et nytt problem, *overgangskurver*. I grunnen er det soleklart at sådanne bør det være, det tar en viss tid å snu rattet, med stor fart må det heller ikke skje for hurtig, for da vil kreftene bli for store, bilen vil gå i spinn, kanskje endog velte. I denne tid bør kurven gradvis overgå fra  $\infty$  til den ønskede radius. Altså en tilbakevenden til den foran som trakaseri betegnende kurve med variabel radius, men riktig nok under ganske andre forutsetninger og utførelse.

Om overgangskurver har nu den nylig avdøde kjente wiener professor Orley skrevet en redegjørelse til den tyske veigeneral dr. Todt, som denne har utgitt i bokform:

Leopold Orley Übergangskurven bei Strassenkrümmungen. Volk und Reich Verlag, Berlin 1937. Rmk. 2,80.

På 80 små oktavsider gjøres der i denne billige bok utførlig og greit rede for overgangskurvenes form — kurvens navn er Klothoide og dens formel

$$\rho_x = \frac{c}{l_x}$$

$\rho_x$  = radien av overgangskurven ved punktet  $x$   
 $l_x$  = avstanden fra begynnelsen til punktet  $x$   
 $c$  = konstant avhengig av kjørehastigheten som forutsettes konstant, og den hastighet hvormed rattet dreies.

Matematisk er dette en innviklet kurve, i rett-vinklet koordinatsystem er ligningene

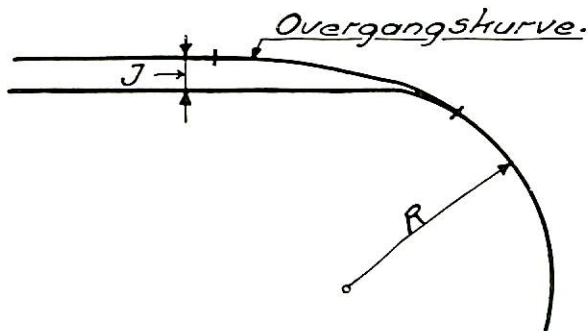
$$x = \sqrt{\frac{C}{2}} \int_0^\pi \frac{\cos \pi}{\sqrt{\pi}} d \pi$$

$$y = \sqrt{\frac{C}{2}} \int_0^\pi \frac{\sin \pi}{\sqrt{\pi}} d \pi$$

hvor  $\pi$  er vinkelen mellom kurvetangenten på vedkommende sted og  $x$  akse.

Klothoiden begynner rettlinjet og blir hurtig en spiral som i et uendelig antall dreininger styrer mot spiralsentrum. Heldigvis behøver man praktisk talt ikke å beskjefte sig med denne meget innviklede matematiske opplysning, for boken inneholder utførlige og greie tabeller for avsetning av overgangskurvene i marken, når tangetinnrykningen først er kjent. Hva vil nu tangentinnrykning si?

Det burde fremgå klart av skissen at vil man ha en overgangskurve så må kurvens centrum rykkes innover (nedover på skissen) ellers er overgangskurven umulig. Orley påviser at denne innrykning ( $J$ ) er *uavhengig av kurveradiens størrelse og avhenger av kjørehastigheten og kjørekomforten*. Er  $g$  = overhøiden i kurven i ‰,  $f$  = anvent friksjonskoeffisient mellom ring og veidekke,  $k$  =



mål for komforten (største rykk (accelerasjon) tvers på kjøretretningen under svingningenes begynnelse og avslutning i m/sek<sup>3</sup>) så blir

$$J = \left( \frac{6,3 f}{100 k} \right)^2 \cdot \left( f + \frac{g}{100} \right)$$

Det påvises enn videre at også to andre faktorer kan være av avgjørende betydning for den nødvendige innrykning.

a) Tilstrekkelig bløt overgang til overhøiden.

$$J = 4 \left( \frac{g_1}{10} \right)^2 \cdot \left( f + \frac{g}{100} \right)$$

$g_1$  = overhøiden ÷ «opkuvningen» på rett veibane

b) Tilstrekkelig tid til å betjene rattet

$$J = \frac{60}{R} \cdot \left( f + \frac{g}{100} \right)$$

Orley anbefaler følgende størrelse for  $J$ :

Bilstamveier 2,0 m, hovedlandeveier 1,5 m  
 mindre viktige veier 1,0 m.

Anvendelsen av overgangskurver er allerede påbudt ved alle tyske veier.

For større kurveradier  $R \geq \left( \frac{v_{maks}}{61} \right)^2$  blir  $J$  mindre<sup>2)</sup>

blir  $R \geq 2 \left( \frac{v_{maks}}{6} \right)^2$  kan  $J$  settes = 0.

$v_{maks}$  = maks. kjørehastighet i kurven.

Orley anbefaler følgende verdier:

	Fjelloverganger				Landeveier		
	R	J	g		R	J	g
	m	m	‰	m	m	‰	
Inntil ..	100	1,50	8	inntil ..	280	1,50	5
» ..	120	0,87	7	» ..	300	1,22	5
» ..	150	0,45	5	» ..	400	0,51	4
» ..	180	0,26	3	» ..	500	0,26	3
» ..	200	0,19	2	» ..	560	0,19	2
Over ..	200	0,00		over ..	560	0,00	

For norske forhold tror jeg at man må anvende større verdier av  $g$ , ellers blir det for dyrt.

1) Konstanten 6 egentlig =  $11,3 \sqrt{f + \frac{9}{100}}$

2) Og Klothoiden kan da erstattes med en overgangskurve med radius =  $2R$ .



Boken er overmåte interessant og bør studeres av hver eneste veiingeniør, som ønsker å følge med tiden; den behandler forøvrig også jernbaneovergangskurver så det gjelder også våre jernbaneingeniører.

## OVERINGENIØR RIIS TAR AVSKJED

Fra 1. juli 1938 fratrer overingeniør Th. Riis sin stilling som leder av veivesenet i Rogaland fylke.

Overingeniør Riis har tjenestegjort i veivesenet siden 1893. De første 3 år var han beskjeftiget i Hordaland, Sogn og Fjordane og Aust-Agder



fylker samt ved Veidirektørkontoret. I 1896 kom han til Nordland som assistentingeniør og blev i 1898 avdelingsingeniør i dette fylke. I 1919 gikk han over til lignende stilling i Østfold fylke og har siden 1923 vært overingeniør i Rogaland.

Det er således en lang tjenestetid overingeniør Riis kan se tilbake på. Under sin virksomhet i veivesenet i de forskjellige strøk av landet har han alltid og ikke minst i sin stilling som chef for veivesenet i Rogaland forestått veibyggingen og administrasjonen i sitt distrikt på en sådan måte at han har erhvervet sig tillid og anerkjennelse såvel hos fylket som hos centraladministrasjonen.

Han er tildelt Kongens fortjenestemedalje i gull.

## OVERINGENIØR BARTH TAR AVSKJED

Den ubønnhørlige aldersgrensebestemmelse har i den senere tid gjort et sterkt innhugg i rekken av veivesenets overingeniører. Også overingeniør Fred. Barth tar avskjed fra veivesenets tjeneste fra 1. juli 1938.

Overingeniør Barth begynte sitt arbeide i veivesenet i 1892, først ved Veidirektørkontoret og senere ved veianleggene i Nordland, Troms og Finnmark fylker. I årene 1895—1899 var han assistentingeniør i Møre og Romsdal fylke, fra hvilken stilling han i 1898 var permitert for å utføre vei- og broundersøkelser på Island. Fra 1899



til 1904 var han avdelingsingeniør og bestyrer av statens veianlegg i Finnmark fylke. I 1904 blev han forflyttet til Sør-Trøndelag fylke i samme stilling og blev i 1913 overingeniør og chef for veivesenet i dette fylke ved innførelsen av den kombinerte veiadministrasjon. Siden 1920 har han vært overingeniør i Vest-Agder.

Overingeniør Barth har som det sees hat en meget ambulerende tjeneste i veivesenet. Han har alltid vært den humane arbeidsleder og dyktige administrator, som har ledet veibyggingen innen sitt distrikt på en meget anerkjennelsesverdige måte.

For sine fortjenester av veivesenet er han tildelt Kongens fortjenestemedalje i gull.

## RETTSAVGJØRELSER

*Erstatningsansvar ved sporveisdriift.*

Høiesterettsdom av 29. juni 1937. (Rettsst. s. å. side 563.)

For skade voldt en lastebil og dens eier ved sammenstøt med sporvogn ansees sporveisselskapet objektivt ansvarlig, da sammenstøtet skyldtes feil ved sporvognens bremseinretningers funksjon. Da lastebilens eier hadde vist uaktsomhet, reduseres erstatningsbeløpet etter analogi med bestemmelsen i § 25 i straffelovens ikrafttredelseslov. — Motorvognlovens erstatningsbestemmelser finner ikke anvendelse på skinnegangsvogners ansvar.

Av førstvoterendes votum, som fikk tilslutning av de øvrige voterende i Høiesterett, hitsettes: „Motorvognloven gjelder ifølge lovens § 1 ikke „skinnegangsvogner“, og bestemmelsene i lovens § 30, første og annet ledd, om eierens objektive ansvar for bruken av motorvogn gjelder heller ikke skinnegangsvogn.



Allikevel heter det i § 30, fjerde ledd: „Når tvo eller fleire motorvogner støyter saman, eller motorvogn støyter saman med skeinegangsvogn, gjeld ikkje reglane i fyrste og andre leden den skade vognene gjer kvarandre.” Da første og annet ledd som nevnt ikkje gjelder skinnegangsvogner, kan denne bestemmelse ikkje tas på ordet. Jeg må anta at meningen er at bestemmelsen i fjerde ledd skal gjelde den skade motorvognene gjer hverandre eller skinnegangsvognen, ikkje den skade sistnevnte gjer motorvognene. Skinnegangsvognens — jernbanens og sporveiens — ansvar for bedriftsulykke reguleres ikkje av motorvognloven, men må helt ut bedømmes etter almindelige rettsgrunnsetninger.”

#### *Jernbanens ansvar ved planoverganger.*

Høiesterettsdom av 25. september 1937. (Rettst. s. å. side 698.)

Statsbanane tilpliktes å betale erstatning for overkjøring av bil på en sterkt beferdet, farlig privat planovergang i nærheten av by. Smlg. Rettst. 1937 side 265.

Av førstvoterendes votum, som fikk tilslutning av de øvrige voterende i Høiestrett, hitsettes: „Jeg finner å måtte legge til grunn det rettslige synspunkt som førstvoterende fremhevet i den i Rettst. 1937 side 256 refererte sak: Den omstendighet at en planovergang er privat slik at retten til trafikering over planovergangen bare er tillatt for en enkelt eller noen få eiendommer, utelukker ikkje at forholdene etter hvert i årenes løp kan utvikle sig slik at det må påhvile jernbanen å treffe nye, særskilte foranstaltninger for å fjerne eller forminske de med bruken av planovergangen forbundne faremomenter. Det må gjøres til gjenstand for en konkret, skjønsmessig vurdering hvorvidt den i utviklingens medfør stedfunne økning av trafikeringen av en planovergang tvers over jernbanesporene gjer arrangementet uforsvarlig.

#### *Erstatningsansvar ved motorvognkjøring.*

Høiesterettsdom av 29. juni 1937. (Rettst. s. å. side 568.)

Bilfører passerer stillestående bil på smal vei under utfbedring med 25 km fart og kjører på en veiarbeider som kom frem bak den stående bil uten å se etter om veibanen var fri. Begge ansees å ha handlet uaktsomt, men ikkje grovt uaktsomt. Erstatning for skade og tap i fremtidig erhverv blev tilkjent med kr. 18 616,50.

#### *Rutekjøring og dermed likestillet kjøring.*

Høiesterettsdom av 28. august 1937. (Rettst. s. å. side 640.)

Lastebileier, som regelmessig kjørte øl og returgods for agenter på Notodden, som representerte to bryggerier i Oslo, og delvis tok suppleringsgods med for andre, antas å ha drevet regelmessig kjøring med gods samlet fra flere.

#### *Utlån av motorvogn. — Motorvognlovens § 12, tredje ledd.*

Høiesterettsdom av 18. september 1937. (Rettst. s. å. side 687.)

Eier av bil, som hadde utlånt denne for prøvekjøring til en person uten å anstille positive undersøkelser om denne hadde kjørecertifikat, kunde ikkje sies å ha „forvisset sig” om forholdet.

#### *For stor last. — Forskriftenes § 17.*

Høiesterettsdom av 22. oktober 1937. (Rettst. s. å. side 824.)

Uaktsom overtredelse av motorvognlovens § 7 og forskriftenes § 17 — overskridelse av den registrerte lassvekt — er straffbar. Da domsgrunnene ikkje gav tilstrekkelig sikkerhet for at frifinnelsen ikkje var bygd på en uriktig opfatning av det strafferettslige uaktsomhetsbegrep, opheves dommen.

#### *„Nær veien”. — Trafikkreglernes § 13.*

Høiesterettsdom av 4. september 1937. (Rettst. s. å. side 646.)

Tiltalte var frifunnet for overtredelse av trafikkreglernes § 13, da retten ikkje fant at det i saken omhandlede hus lå „nær veien”. Anke herover forkastes, da det ikkje var holdepunkt i dommens beskrivelse for å statuere at den berodde på en uriktig oppfattelse av lovbestemmelsen.

Av herredsrettens dom hitsettes: „Holmquists hus ligger med den ene enden (nærmest Fredrikstad) ca. 5 meter og med den annen ca. 2,5 meter fra kanten av hovedveien. Stykket mellom veien og huset er påfylt og planert omtrent i høide med veien. Det er ikkje gjerde eller trær rundt huset, og det er heller ikkje noe annet som tar bort den fri oversikt for en bil som kommer fra Fredrikstad eller for folk som kommer ut av huset. Fra butikkdøren til veien er avstanden 4 a 4,5 meter. På grunnlag av det således anførte er retten kommet til det resultat at bestemmelsen i trafikkreglernes § 13 om „hus som ligger nær veien” ikkje er anvendelig på det foreliggende tilfelle”. (Dissens, 6 mot 1 st.)

#### *Refusjon av utlegg til grunnerhvervelse. — Bygningslovens § 46.*

Høiesterettsdom av 22. desember 1938. (Rettst. s. å. side 990.)

Kommunen kan bare kreve refusjon for utlegg til erhvervelse av grunn til utvidelse av vei (bygningslovens § 46) i den utstrekning hvori utvidelsen medfører verdiøkning, og det er kommunens sak å få spørsmålet herom avgjort ved lovlig skjønn. Se Rettst. 1934 side 997. (Dissens, 6 mot 1 st.)

## MINDRE MEDDELELSER

### TIROL MODERNISERER SINE VEIER

I Tirol er man nu med full kraft gått inn for å modernisere veiene så hurtig som det på noen måte kan la sig gjøre. Utbygging av veiene — spesielt med henblikk på turister — er alt igangsatt. Enn videre skal alle hovedveier samt tilførselsveiene til Inndalen gjøres støvfrie. Turistveiene i Tirol skal således bli fullstendig støvfrie. Enn videre skal det bygges en 8 m bred vei mellom München og Innsbruck gjennom Achenseedalen. Som andel i det tyske autostrada-nett får Tirol også veien Kufstein—Innsbruck, anslått til 30—60 mill. kroner samt en annen nord—syd-gående vei gjennom Tirol, anslått til ca. 114 mill. kroner. Utbygging av Arlbergveien til 8 m kjørebredde og fullstendig modernisering av veien mellom Haiming og Imst skal også påbegynnes, like som en ny sydlig alpevei skal bygges i Zillerdalen.

*Automobil-Revue.*



## LITTERATUR

*Våre leravsetninger som byggegrunn, av Gunnar Holmsen.*

Statsgeolog G. Holmsen har som bekjent i flere avhandlinger offentliggjort nogen av resultatene fra sine undersøkelser i forbindelse med lerfall og større og mindre jordskred.

I denne avhandling gir han på en grei og lettlest måte et utdrag av sine erfaringer støttet til eksempler hentet fra sine egne og andres undersøkelser. Særlig inngående behandles de geologiske betenkninger som av parterne blev fremlagt under prosessen om undergrunnsbanens skadevirkninger i Oslo. Dette materiale er av stor interesse, men vanskelig tilgjengelig.

I de første avsnitt omtaler forfatteren lerens dannelsesmåte og forskjellige fysiske og mineralske egenskaper såsom kornstørrelse, mineralsammensetning, struktur, plastisitet, vanninnhold, konsistens, relativ fasthet, finhetstall og skjær-fasthet, elektrolytters innflytelse på lerens konsistens, tørrskorpe, kontraksjon under avgivning av vann, volumvekt, lerens fasthet sett i sammenheng med dets vann og gytjeinnhold, vannledningsevne og måling av grunnvannets nivå.

I disse kapitler får man rede på de forhold ved en lere som det er av interesse å kjenne nærmere, når man skal bedømme dens egenskaper som byggegrunn. I de etterfølgende avsnitt om masseforskyvninger og dreneringen på grunn av undergrunnsbanen, behandles inngående en del av det foran omtalte observasjonsmateriale fra prosessen om undergrunnsbanens skadevirkninger.

På den tid da anlegget av undergrunnsbanen blev påbegynt og de første skadelige virkninger viste sig, forelå der kun sparsomme geologiske og geotekniske undersøkelser over leren som byggegrunn. Dette bevirket at de mange undersøkelser som den nevnte prosess foranlediget, ikke alltid gir et entydig svar på de mange spørsmål.

Statsgeolog Holmsen søker i nærværende avhandling å finne frem til de sikre slutninger som kan trekkes.

I siste avsnitt påviser forfatteren den praktiske og økonomiske betydning det har at der blir utarbeidet geologiske karter. Sådanne karter vil yde en utmerket støtte ved grunnundersøkelser.

Så vidt mig bekjent er denne avhandling, som er utgitt av Norges geologiske undersøkelse som nr. 151, det eneste skrift på norsk som kortfattet gir en samlet fremstilling av de geologiske og fysiske faktorer som spiller nogen rolle ved bedømmelsen av ler som byggegrunn. Enhver ingeniør som arbeider med byggematerialet ler bør studere boken nøie. For veiingeniører har avhandlingen dessuten den spesielle interesse at den klarlegger de av lerens egenskaper som har betydning i forbindelse med de stabiliserte grusveidekker.

Selv om spørsmålet om kornsammensetningen i disse dekker vel kan anses i det vesentlige klarlagt er vel neppe de egenskaper som må kreves av leren — bindfyllen — entydig bestemt. Dr. Holmsens avhandling omhandler imidlertid de fysiske egenskaper som antas å ha fundamental be-

tydning for bedømmelsen av lerens egenskaper som bindfyll.

For dem som måtte ønske ytterligere opplysninger om emnet finnes der en rikholdig litteraturfortegnelse bak i avhandlingen. T. B. Riise.

*Meddelelser fra Norges Statsbaner nr. 1 — 1938*  
Innhold:

Driftsregnskapet for Norges Statsbaner 1. juli 1936—30. juni 1937. Driftsutgifter i de enkelte distrikter 1. kvartal 1937—38 sammenlignet med tilsvarende tidsrum foregående driftsår. Rians lasteapparat i tunneler. Ny dieselmotorboggivogn for Norges Statsbaner. Nye rutebiler for Trondheim distrikt. Beholder (container) trafikk. Moderne revisjon. Statsbanenes Automobilavdeling i Oslo. Spesifikasjon over godsefterlysninger ved N. S. B. i terminen 1936—37. Midlere arbeidsstyrke ved jernbaneanleggene i 1936—37 m. v. Arbeidsstyrken ved statens jernbaneanlegg pr. 31. desember 1937. Gjenemsnittlig arbeidsfortjeneste ved jernbaneanleggene i terminen 1936—37. Arbeidsfortjeneste ved statens jernbaneanlegg 1. og 2. kvartal 1937—38. Oversikt over godstrafikken ved N. S. B. 4. kvartal 1937. Litteraturhenvisninger til utenlandske tidsskrifter m. v. Personalforandringer ved N. S. B. Innholdsfortegnelse 2 for 1933—1937.

*Svenska Vägföreningens tidskrift, nr. 2 — 1938.*

Innhold: Bort med opplagen invid vägarna. — 1938 års statsverksproposition i vägfrågor. — Riktlinjer i arbetet för bättre trafiksäkerhet — särskilt beträffande upplag vid allmän väg. — Riksdagens revisorers berättelse. — Vägsikten år 1938. — 1937 års bilskatteutredning ännu en gång. — Rättsfall. — Litteratur. — Person-notiser. — Föreringsmeddelanden. — Notiser.

*Dansk Vejtidskrift nr. 2 — 1938.* Innhold:

Amtmand, Kammerherre Knud Valløe. Oversikt over Landevejenes Kørebanebefæstelser og Længden af Landeveje og Landevejsgader den 1. April 1937. Om Fastsættelsen af Erstatningen for Ejendomsafstaaelse til Vejanlæg. Af Amtsradssekretær, cand. jur. E. A. Abitz. Fejl ved Vejbelægninger, Erfaringer fra Praxis. Af Ingeniør, cand. polyt. A. M. Jensen. Meddelelse fra Vejkomiteen. International Vejkongres i Haag fra 18. Juni til 2. Juli 1938. Højesterets Dom af 7. Oktober 1937 om Turistkørsel. Af Højesteretspræsident Troels G. Jørgensen. Fra Domstolene. Fra Ministerierne. Indhold af Tidsskrifter. A/S Colas. Motorafgifter 1937—38.

*Dansk Vejtidskrift nr. 3 — 1938.* Innhold:

Amtmand, Kammerherre H. Andersen. Ulykkestilfælde paa Veje. Rapport til Vejkongressen i Haag 1938. Fremskridt i Anvendelsen af Cement siden Kongressen i München 1934. Rapport til Vejkongressen i Haag 1938. Om Fastsættelsen af Erstatningen for Ejendomsafstaaelse til Vejanlæg. (Sluttet.) Fejl ved Vepbelægninger, Erfaringer fra Praxis. (Sluttet.) Oversigt over Fordelingen af Forskud paa Motorafgift m. v. 1937—38. Fra Domstolene.

UTGITT AV TEKNISK UKEBLAD, OSLO

Abonnementspris: kr. 10,00 pr. år. — Annonsepris:  $\frac{1}{4}$  side kr. 80,00,  $\frac{1}{2}$  side kr. 40 00,  
 $\frac{1}{4}$  side kr. 20,00.

Ekspedisjon: Ingeniørenes Hus. Telefoner: 20701, 23465.