BEOBACHTUNGEN ÜBER DEN BODENFROST DES WINTERS 1941 — 1942

VON

P. KOKKONEN

HAVAINTOJA TALVEN 1941—1942 ROUDASTA

SELOSTUS

Helsinki 1942 Suomalaisen Kirjallisuuden Seuran Kirjapainon Oy.

Als ich im vergangenen Frühjahr (1942) in den letzten April- und den ersten Maitagen die Äcker meiner Heimat (Iisalmi, Iiranta) besah, fand ich zu meiner Überraschung, dass die Sohlen der Gräben zwischen den Schlägen 20—25 cm tief sozusagen eingesunken waren. In früheren Jahren hatte ich diese Erscheinung nicht so ausgeprägt gesehen, sondern sie beschränkte sich damals hier und da auf ein ganz geringes Mass, wobei ich sie im allgemeinen auf die Frostbildung im Boden zurückführte. In dieser Stärke konnte sie jedoch nicht ausschliesslich vom Bodenfrost herrühren, vielmehr war sie durch eine besondere Bodenfrostform verursacht, für die eine sehr dicke Eisschicht etwas unterhalb der Grabensohle charakteristisch ist; so stellte ich mir die Sache als alter Bodenfrostforscher vor. Ich holte von zu Hause einen Spaten und Hilfskräfte, und die Seite des Grabens wurde geöffnet. Meine Vorhersage war ganz richtig, denn 10 cm vom Rand des Grabens war die Bodenfrostlage im senkrechten Profil folgende:

Von der Erdoberfläche aus cm	
0—32	ganz ungefrorener Boden, in dem wahrscheinlich kein geschichteter Frost vorhanden gewesen war;
32—43	geschichteter Bodenfrost, bei dem die Erd- und Eisschichten im grossen und ganzen gleich dick (4—10 mm) waren;
43—66	ganz reines Eis, in dem nur ein paar unzusammenhängende, dünne Erdschichten hier und da anzutreffen waren;
66—	ungefrorener Boden.

An mehreren anderen Stellen desselben Ackers wurde in gleichartigem Boden ähnlicher geschichteter Bodenfrost festgestellt, für den eine 22—25 cm dicke reine Eisschicht am unteren Rand der Frostschicht eigentümlich war. Auf dieser am 1. Mai unternommenen Exkursion hatte ich keine photographische Kamera bei mir, aber dies war beim folgenden Male (19.—23. 5. 1942) der Fall, und da wurde der Bodenfrost neben der vorhergehenden Versuchsgrube untersucht, und das Profil war folgendes:

0—36 cm unter der Erdoberfläche ganz ungefrorener Boden;
36—42 » geschichteter Bodenfrost mit dünnen, 3—6 mm starken Eisschichten etwa 5—10 mm voneinander;
42—62 » eine reine Eisschicht, die hier und da etwas Erde in dünnen Schichten enthält, wie Abbildung 1 zeigt;
62— » ungefrorener Boden.

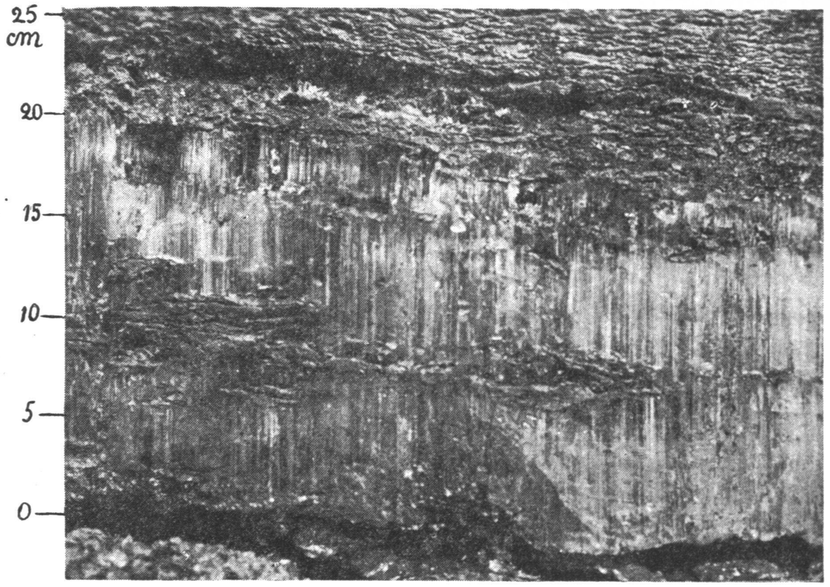

Abb. 1. Senkrechter Querschnitt. Dicke Eisschichten am unteren Rand einer Bodenfrostschicht.

Wie die obigen Angaben zeigen, waren im Bodenfrost während der etwa 3 Wochen zwischen den Beobachtungen keine nennenswerten Veränderungen eingetreten, nur die dicke Eisschicht war ein wenig dünner geworden.

Eine so dicke Eisschicht habe ich in geschichtetem Bodenfrost früher nicht konstatiert [1], und ihre Bildung setzt sehr kapillaren Boden und anhaltende strenge Kälte voraus. Die mechanischen Analysen des ungefrorenen Bodens unter der Frostschicht und des ungefrorenen Bodens an der Erdoberfläche waren folgende [2]:

[1] Vgl. Kokkonen, P.: Beobachtungen über die Struktur des Bodenfrostes. Acta forestalia fennica 30. 1926.

[2] Die mechanischen Bodenanalysen sind auf der agrikulturchemischen und -physikalischen Abteilung der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt (Leiter Prof. Dr. P. Tuorila) ausgeführt worden.

Korngrösse in mm	Boden unter der dicken Eisschicht	Boden an der Erdoberfläche
2.0—0.2	1.0 %	0.9 %
0.2—0.06	0.1 »	1.5 »
0.06—0.02	3.8 »	4.6 »
0.02—0.006	31.4 »	13.6 »
0.006—0.002	38.1 »	42.8 »
unter 0.002	25.6 »	36.6 »

Der Boden unter dem Bodenfrost besteht also aus Ton, der sich zu ainem Viertel aus Tonbestandteilen (mit einem Durchmesser von weniger als 0.002 mm) zusammensetzt. Ebenso besteht der Boden an der Erdoberfläche aus Ton, in dem die Menge der Tonbestandteile über ein Drittel ausmacht. Im letzteren Boden sind die Bewegungen des kapillaren Wassers langsamer als im ersteren, und ausserdem blieb der oberflächliche Teil des Bodens in dem niederschlagsarmen Herbst sehr trocken, so dass sich unter der Einwirkung dieser Umstände Bodenfrost mit wenig Eisgehalt bildete, der nur verhältnismässig dünne Eisschichten einschloss, und dass die ganze erwähnte Bodenschicht ziemlich schnell gefror. Nachdem sich dagegen die Vereisungsschicht zwischen diese Böden geschoben hatte, konnte die Kapillarität des ersteren Bodens genügend Wasser zu der Vereisungsgrenze emporheben, wodurch eine dicke, 20—25 cm starke Eisschicht entstand, in deren Innerem nur ganz minimale Erdschichten zu finden sind. Auf die Entstehung, Form und Ausdehnung dieser Erdschichten scheint der physikalische Zustand des Bodens, wie die von dem Eintrocknen herrührende Spaltbildung (vgl. Abbildung 2) und vor allem die Porosität des Bodens einzuwirken.

Der Winter 1941—42 war seit mehreren Jahrzehnten einer der strengsten und wich insofern von manchem früheren ab, als eigentliche Tauwetterperioden überhaupt nicht oder jedenfalls nicht mit solcher Intensität auftraten, dass sich ihre Wirkung bis zum unteren Rand der Bodenfrostschicht, in die eigentliche Vereisungsschicht erstreckt hätte. Die folgenden Zahlen geben die Temperaturen in Maaninka wieder, das etwa 70 km südlich von Iisalmi—Iiranta entfernt liegt.

	Wintermonate 1941—1942								
Temperatur ..	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Höchste	15.0	12.4	3.0	0.8	3.0	—3.0	3.9	14.5	24.2
Mittlere	7.3	—0.2	—5.6	—15.9	—19.1	—13.0	—10.9	1.3	6.1
Niedrigste	—4.7	—16.7	—23.2	—34.0	—34.6	—31.3	—32.3	—25.5	—7.1
Normale	8.7	2.5	—2.5	—7.4	—9.0	—9.6	—5.6	0.7	7.1

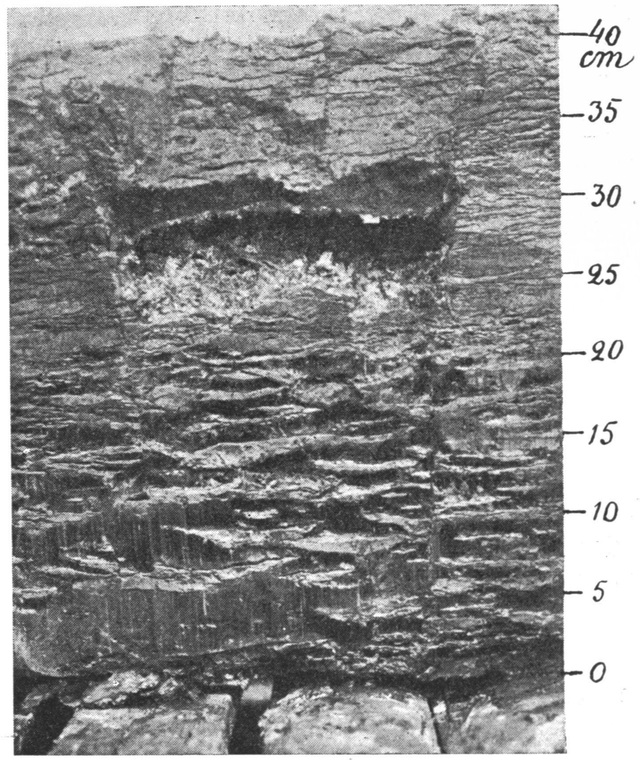

Abb. 2. Senkrechter Querschnitt. Dicke Eisschichten im unteren Teil einer Bodenfrostschicht. Man beachte die Wirkung der früheren Spaltbildung auf die Eis- und Erdschichten.

Wie man aus den vorstehenden Zahlen ersieht, war der Winter ausserordentlich gleichmässig kalt, weshalb dicke Eisschichten entstehen können, wenn die Bodenschichten feucht sind und ihre Kapillarität hinreichend ist. Im vorliegenden Fall erregt es Verwunderung, dass die Bodenart, auf der eine so ungeheuer dicke Eisschicht (ca. 20—25 cm, während die früher von mir festgestellte dickste Eisschicht 6.5 cm mass) entstand, ziemlich starrer Tonboden ist, in dem man Kapillarwasser mit sehr schneller Bewegung erwarten möchte. Vielleicht ist aber die Bewegungsfähigkeit des Kapillarwassers durch die auf klimatischen Faktoren, dem Austrocknen, der Bodenfrostbildung u. a. beruhende Auflockerung des Bodens erhöht worden.

Das spezifische Gewicht des Eises der Eisschicht wurde ziemlich ebenso hoch wie das des gewöhnlichen Eises gefunden. Somit entspricht das

Gesamtwasser der Eisschicht 180—190 mm Niederschlag. Das Schmelzen einer solchen Eisschicht fordert ungeheuer viel Wärme. Wenn die Eisschicht nur 33—40 cm unter der Erdoberfläche liegt, übt sie einen sehr merkbaren Einfluss auf die Vegetation aus. Hier kann nicht näher auf diese Verhältnisse eingegangen werden, es sei nur bemerkt, dass, während man nach den warmen Tagen um Pfingsten herum trotz der kühlen Witterung ein kräftiges Wachstum erwartet hätte, in der ersten Hälfte des Juni die Vegetation in der kühlen Zeit 3 Wochen lang gar keine Fortschritte machte, sondern schwach wurde und in manchen Fällen verwelkte. Wo eine solche Eisschicht vorhanden war, fiel die Heuernte dieses Sommers ausnahmslos sehr schlecht aus und belief sich nur auf die Hälfte des Normalen.

Die Bildung einer dicken Eisschicht hat mancherlei andere Folgen, die davon herrühren, dass sich die Erdoberfläche ungefähr um die Dicke der Eisschicht gehoben hat. Hieraus erklärte sich schon die Senkung der Grabensohlen, die oben erwähnt wurde. Die Eisschicht schmolz früh bei dem Graben, und die auf der Sohle des Grabens über der Eisschicht liegende dünne, wenig Eis enthaltende Schicht, die bei dem Schmelzen des Bodenfrostes sehr weich war, konnte nicht in der Luft bleiben, sondern fiel in Schollen herab. Das später erfolgende Schmelzen der Eisschicht führt weiter zu einer Zertrümmerung des Grabens, so dass die Gräben fast ausnahmslos gründlich beschädigt werden und sich in sehr grossem Umfang verstopfen.

Ferner könnte erwähnt werden, dass derartiger Bodenfrost tief in die Wege, besonders in die einfachen Dorfwege eingreift. Wenn das aus der Eisschicht herausgeschmolzene Wasser abfliessen kann, beschränkt sich die Wirkung darauf, dass die Gräben beschädigt und die Ränder der Fahrbahn zerrissen werden, was den Verkehr stark beeinträchtigen kann. Noch grösser ist der Nachteil, wenn das Wasser beim Schmelzen der Eisschicht abfliessen kann, denn dann bilden sich mitten auf dem Wege mehr oder weniger ausgebreitete hohe (0.2—0.4 m) »Geschwüre», aus denen nasser Schlamm an die Erdoberfläche dringt und den Verkehr hindert, und ausserdem hält der im Niveau der Eisschicht innerhalb der Fahrbahn entstandene Schlammboden den Weg weithin schwappend.

Von dem Schmelzen der Eisschicht sei hier erwähnt, dass es infolge der von oben kommenden Wärme stattfindet. Auf offen dräniertem Acker sowie an Fahrbahnen erfolgt das Schmelzen schneller nach den Gräben hin und zuletzt zwischen dem Ackerbeet und dem Wege. In normalen Jahren ist auf den Ackerbeeten die Wirkung des Schmelzens des Boden-

frostes nur in den Gräben zu bemerken, welche immer schon durch einen unbedeutenden Bodenfrost beschädigt werden, denn die Eisschichten sind sehr dünn. Ist die Eisschicht aber über 20 cm dick, so ruft sie auf dem Ackerbeet dieselben Erscheinungen hervor, die wir auf den Wegen jedes Frühjahr während des Schmelzen des Bodenfrostes angetroffen haben, d. h. eine Zerklüftung der Ränder. Auf den Beeten fand sich in dem fraglichen Sommer 0.5—1.0 m vom Rand des Grabens eine 4—10 cm breite Spalte über das Beet hin. Beim fortschreitenden Schmelzen erschien in etwa 2—3 m Abstand von dem Graben eine andere, schmälere Spalte. Auf den Wegen waren die Spaltbildungen und die »Geschwüre» in diesem Sommer stärker als in anderen Jahren. Im allgemeinen sind die Bodenfrostphänomene auf Wegen, auf denen im Winter Verkehr stattfindet, ausgeprägter als da, wo dies nicht der Fall ist. Behelfswege verursachen auf dem Acker eine ähnliche Erscheinung. Im vorigen Winter bewirkte schon ein ganz kleiner Pfad auf einem Roggenacker, dass die Saat an der Stelle im Frühjahr ganz verschwand, obwohl der Pfad die Dicke des Bodenfrostes, der immer durch einen vom Pferd befahrenen Winterweg hervorgerufen wird, sonst nicht erhöhte. Der Bodenfrost auf den Äckern war schon um den 12. Juli geschmolzen.

HAVAINTOJA TALVEN 1941—42 ROUDASTA.

SELOSTUS.

Kun viime kevänä (1942) huhtikuun loppupäivinä ja toukokuun alkupäivinä tarkastelin kotiseutuni (Iisalmi, Iiranta) peltoja, havaitsin ihmeekseni, että sarkaojien pohjat olivat aivan kuin pudonneet 20—25 cm alemmaksi. Aikaisemmin muina keväinä en ollut havainnut tällaista ilmiötä näin voimakkaana, vaan aivan vähäisenä paikkapaikoin, jolloin sen katsoin johtuvan yleensä maan routimisesta. Mutta näin voimakkaana ei se ole voinut johtua ylimalkaan roudasta, vaan sen on aiheuttanut erikoinen routamuoto, jolle on ominaista hyvin paksu jääkerros hiukan alempana ojasyvyyttä; näin ajattelin vanhana roudan tutkijana. Noudin kotoa lapion ja apuvoimaa ja avattiin sarkaojan sivu. Ennusteluni oli aivan oikea, sillä 10 cm ojan reunasta pystysuorassa profiilissa oli routatilanne seuraava:

Maanpinnasta lukien cm	
0—32	aivan sulaa maata, jossa nähtävästi ei ole ollut kerrosroutaa;
32—43	kerrosroutaa, jossa maa- ja jääkerrokset olivat suurinpiirtein yhtäpaksuja (4—10 mm);

43—66	kokonaan puhdasta jäätä, jossa vain aivan jokunen katkonainen ja ohut maakerros tavattiin siellä täällä.
66—	sula maa

Useissa muissa paikoissa samalla pellolla todettiin samallaisella maaperällä olevan samallainen kerrosrouta, jolle oli ominaista 22—25 cm paksu puhdas jääkerros routakerroksen alareunassa. Tällä vapun aikaan suorittamallani matkalla ei minulla ollut valokuvauskonetta, mutta seuraavalla kerralla (19—23/5 -42) oli mukana valokuvauskone ja silloin tutkittiin edelläolevan koekuopan vierestä routaa ja profiili oli seuraava:

0—36 cm	maanpinnasta lukien aivan sulaa
36—42 »	kerrosroutaa, jossa ohuita (3—6 mm) jääkerroksia noin 5—10 mm päässä toisistaan.
42—62 »	puhdas jääkerros, jossa hiukan maata siellä täällä ohuina kerroksina, kuten kuva 1 osoittaa.
62— »	sula maa

Kuten edellä olevat selostukset osoittavat, ei sanottavia muutoksia roudassa ollut tapahtunut havaintojen välisenä n. 3 viikon aikana, vain jonkin verran paksu jääkerros oli ohentunut.

Näin paksua jääkerrosta kerrosroudassa en aikaisemmin ole havainnut [1] ja sen muodostuminen edellyttää hyvin kapillarista maata ja pysyvää kovaa pakkasta. Routakerroksen alla olevan sulan maan ja maanpinnassa olevan sulan maan mekaniset analyysit olivat seuraavat [2]:

Raesuuruus mm	Paksun jääkerroksen alla oleva maa	Maanpinnassa oleva maa
2.0—0.2	1.0 %	0.9 %
0.2—0.06	0.1 »	1.5 »
0.06—0.02	3.8 »	4.6 »
0.02—0.006	31.4 »	13.6 »
0.006—0.002	38.1 »	42.8 »
alle 0.002	25.6 »	36.6 »

Roudan alla oleva maa on siis savea, jossa saviaineksia (alle 0.002 mm läpimittaisia) on neljännes osa. Samoin maanpintamaa on savea, jossa saviainesten määrä kohoaa yli kolmannen osan. Jälkimäisessä maassa ovat kapillarisen veden liikkeet hitaampia kuin edellisessä ja lisäksi vähäsateisena syksynä jäi maan pintaosa hyvin kuivaksi, joten näiden seikkojen vaikutuksesta routa muodostui vähäjäiseksi sisältäen vain verraten ohuita jääkerroksia ja koko mainittu maakerros routaantui jotenkin nopeasti. Sen sijaan jäätymiskerroksen siirryttyä näiden maiden välille, kykeni edellisen maan

[1] Vert. Kokkonen, P. Beobachtungen über die Struktur des Bodenfrostes. Acta forestalia fennica 30. 1926.

[2] Mekaniset maa-analyysit on tehty maatalouskoelaitoksen maanviljelyskemian ja -fysikan osastolla, johtaja prof. Pauli Tuorila.

kapillariteetti nostamaan riittävästi vettä jäätymisrajaan, joten syntyi paksu, 20—25 cm jääkerros, jossa vain aivan mitättömiä maakerroksia tavataan jääkerroksen sisällä. Näiden maakerrosten syntyyn, muotoon ja laajuuteen näyttää vaikuttavan maassa oleva fysikaalinen tila, kuten kuivumisesta johtunut rakoilu (vert. kuva 2) ja ennen kaikkia maan huokoistila ym.

Talvi 1941—42 oli ankarampia kuin moniin vuosikymmeniin ja sikäli monesta aikaisemmasta poikkeava, että varsinaisia suojakausia ei ollut ollenkaan, ei ainakaan niin voimakkaita että niiden vaikutus olisi ulottunut routakerroksen alareunaan, varsinaiseen jäätymiskerrokseen. Seuraavat luvut osoittavat lämpötiloja Maaningalla, joka on noin 70 km etelään Iisalmen Iirannalta.

	Talven kuukaudet 1941—1942								
Lämpötila	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Ylin	15.0	12.2	3.0	0.8	—3.0	—3.0	3.9	14.5	24.2
Keski-	7.3	—0.2	—5.6	—15.9	—19.1	—13.0	—10.9	1.3	6.1
Alin	—4.7	—16.7	—23.2	—34.0	—34.6	—31.3	—32.3	—25.5	—7.1
Normaali	8.7	2.5	—2.5	—7.4	—9.0	—9.6	—5.6	0.7	7.1

Kuten edellä olevista luvuista havaitaan oli talvi erikoisen tasaisen kylmä, josta syystä voi syntyä paksuja jääkerroksia, kun maakerrokset ovat kosteita ja niiden kapillaarisuus riittävä. Nyt puheena olevassa tapauksessa ihmetyttää, että maalaji, jonka päälle syntyi niin tavattoman paksu jääkerros (n. 20—25 cm, aikaisemmin havaitsemani paksuin jääkerros oli 6.5 cm), on melko jäykkää savimaata, jossa ei odottaisi hyvinkään nopealiikkeistä kapillarivettä. Mutta ehkä kapillariveden liikkumiskykyä on lisännyt ilmastotekijöiden, kuivumisen, routimisen ym. aiheuttama maan kuohkeuttaminen.

Jääkerroksen jään ominaispaino todettiin jotenkin yhtäsuureksi kuin tavallisen jään. Näin ollen jääkerroksen kokonaisvesi vastaa 180—190 mm sadetta. Tällaisen jääkerroksen sulaminen vaatii tavattoman paljon lämpöä. Kun jääkerros on vain 38—45 cm syvyydessä maanpinnasta, on sillä erikoisen tuntuva vaikutus kasvillisuuteen. Tässä ei voida näistä suhteista lähemmin puhua, huomautettakoon vain, että kun helluntain lämpimien jälkeen olisi odottanut voimakasta kasvua kesäkuussa, vaikka olisikin koleata, niin kesäkuun alkupuoliskolla koleiden ilmojen aikana ei kasvillisuus yhtään edistynyt 3 viikkoon, vaan heikkeni ja monessa tapauksessa kellastui. Missä tällainen jääkerros oli, muodostui tämän kesän heinäsato poikkeuksetta aivan huonoksi, korkeintaan puoleksi normaalista.

Paksun jääkerroksen muodostumisesta on monenlaisia muita seurauksia, jotka johtuvat siitä, että maanpinta on noussut suunnilleen jääkerroksen paksuuden ylöspäin. Tästä jo johtui ojan pohjien putoaminen, josta aikaisemmin mainittiin. Jääkerros suli aikaiseen ojan kohdalta ja ojan pohjassa jääkerroksen päällä oleva ohut vähäjäinen kerros ollen roudan sulamisen aikana hyvin pehmeä ei voi pysyä ilmassa, vaan putosi alas lohkareina. Myöhemmin tapahtuva jääkerroksen sulaminen rikkoo vielä ojaa, joten melkein poikkeuksetta ojat särkyvät kokonaan ja erittäin suuressa määrässä tukkeentuvat.

Vielä voisi mainita, että teiden, varsinkin maarakenteisiin kyläteihin on tällaisella

roudalla suuri vaikutus. Silloin kun jääkerroksesta sulanut vesi pääsee valumaan pois, supistuu vaikutus ojien rikkoutumiseen ja tiepankin reunojen lohkeilemiseen, joista saattaa olla liikenteelle tuntuvaa haittaa. Vielä suurempi on haitta, jos vesi ei pääse jääkerroksen sulaessa valumaan pois, sillä silloin muodostuu tien keskelle suurempi tai pienempialaisia korkeita (0.2—0.4 m) »paiseita», joissa vetelä lieju pyrkii maanpintaan estäen liikenteen ja lisäksi jääkerroksen tasoon tiepankin sisään muodostunut liejumaa pitää tien laajalti hyllyvänä.

Jääkerroksen sulamisesta tulkoon tässä mainituksi, että se sulaa ylhäältä päin tulevan lämmön vaikutuksesta. Avo-ojitetulla pellolla, samoin kuin tiepankeissa tapahtuu sulaminen nopeammin ojien puolella ja viimeiksi saran ja tien keskellä. Tavallisina vuosina, jolloin jääkerrokset roudassa ovat ohuita, ei peltosaroilla huomata roudan sulamisen vaikutusta muualla kuin ojissa, jotka aina vähäisenkin roudan vaikutuksesta rikkuutuvat jossakin määrin. Mutta kuin jääkerros on yli 20 cm paksu, aiheuttaa se saralla samat ilmiöt, kuin olemme teillä joka kevät roudan sulamisen aikana tavanneet, nim. reunojen lohkeilemisen. Saroilla oli tänä kesänä 0.5—1.0 m ojan reunasta noin 6—10 cm leveä rako pitkin sarkaa. Sulamisen edistyessä ilmestyi toinen kapeampi rako noin 2—3 m etäisyyteen ojasta. Teillä oli tänä kesänä rakoilu ja paiseilmiöt voimakkaammat kuin muina vuosina. Yleensä teillä, jossa tapahtuu talvella liikettä, ovat routailmiöt voimakkaammat kuin siellä missä ei liikettä talvella ole. Tilapäiset tiet aiheuttavat samanlaisen ilmiön pellolla. Viime talvena jo aivan pieni polku ruispellolla aiheutti, että laiho siltä kohtaa keväällä katosi kokonaan, vaikkakaan polku ei muuten lisännyt roudan paksuutta, jonka aiheuttaa aina hevosella ajettava talvitie. Routa hävisi pelloilta heinäkuun 12 p:n seutuvilla.