

N:o 1  
1961

12. vuosikerta

8. 8. 1961

S U O

Julkaisija: SUOSEURA

Toimituskunta: Risto Tuomikoski (puh. joht.),  
Viljo Puustjärvi, Erkki Numminen, Into Rauhala (päätoimittaja)

Toimitus:  
Tammela  
Teuro  
Puh. Teuro 11

Tilauhinta 350:—

Kirjoituksia lainattaessa pyydetään mainitsemaan lehden nimi

*K.-H. Korhonen:*

## VESIJÄTTÖJEN KUIVATTAMISESTA

Viime vuosisadalla ja kuluvan vuosisadan alkupuolella on maassamme laskettu lukuisten järvien vedenkorkeutta viljelystä haittaavien tulvien poistamiseksi tai uuden viljelysmaan saamista varten. Mm. Kokemäenjoen ja Kymijoen valuma-alueilla on laskettu lähes kaikkien järvien vedenkorkeutta (Kaitera, Paasilahdi 1940). Tällä tavoin kuivatettuja alueita on aikaisemmin käytetty joko niitty- tai peltoviljelykseen. Kun niittyviljelys on myöhemmin menettänyt lähes kokonaan merkityksensä, on osa lasketuista vesistöistä jäänyt käyttöarvottomiksi vesijätöiksi (Kuva 1). Maanomistajat ovat kuitenkin jatkuvasti osoittaneet kiinnostusta näiden alueiden kuivattamiseen. Varsinkin Etelä-Suomessa ovat helpoimmin ja taloudellisesti toteutettavissa olleet vesijätöjen kuivatustyöt jo pääasiallisesti suoritettu. Jäljellä olevat kuivatustyöt joudutaan tämän vuoksi suorittamaan entistä vaikeammassa olosuhteissa. Vaikka viljelemättömien alueiden kuivattamista ei nykyisin voitane pitää maanparannustoiminnan tärkeimpänä tehtävänä on hyödyttömässä tilassa olevien vesijätöjen kuivattamisella merkitystä varsinkin asianomaisille maanomistajille ja usein myös ko. seudun taloudelliselle kehitykselle. Esimerkkinä mainittakoon Reisjärven kunnassa oleva Kalajan järviniitty, jonka ojitustyöt ovat

parhailaan käynnissä. Kalajan järviniityn kuivattamisen ansiosta lisääntyy Reisjärven kunnan peltopinta-ala noin 35 %:lla.

Vesijätöjen kuivattaminen on osoittautunut erääksi vaikeimmista maatalouden vesirakennusosalalla esiintyvistä tehtävistä. Kuivattaminen voidaan suorittaa, paikallisista olosuhteista riippuen, joko vesijätöltä laskevaa väylää syventämällä tai pengertämällä. Varsinkin Etelä-Suomessa, jossa viljelysmaan arvo on yleensä suurempi kuin maan itä- ja pohjoisosissa, voidaan pengerryskuivatuksen käyttöä puolttaa.

### MAAPERÄTUTKIMUKSET

Vesijätöjen kuivatussuunnitelmia laadittaessa joudutaan kiinnittämään huomiota mm. seuraaviin geoteknillisiin näkökohtiin:

- kuivatuksen (pohjaveden laskeutuksen) aiheuttamaan maanpinnan painumisen arvioimiseen
- vesiväylien mahdollisen sortumisen selvittämiseen
- pengerryskuivatusta käytettäessä maan kantavuuden selvittämiseen ja pumppaamon perustamismenetelmän valitsemiseen.

Vesijätöjen kuivatussuunnitelmien laatimista varten joudutaan maaperätutki-



Kuva 1. Marjajärven vesijätö Kiikoisissa kuivatetaan pengertämällä.

mukset tämän vuoksi suorittamaan yleensä perusteellisemmin kuin muulloin. Maaperätutkimukset suoritetaan tavallisesti kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa selvitetään perattavissa vesiväylissä esiintyvät maalajit ja niiden kaivu vaikeudet. Hyötyalueen pintavaakituksen yhteydessä tutkitaan painuvien maakerrosten vahvuudet joko suokairaa tai ns. kevyttä kairauskalustoa käyttäen. Em. alustavien tutkimusten tulokset kootaan vesiväylien pituus- ja poikkileikkauspiirroksiin ja kartoilte. Tulosten perusteella määritetään ne kohdat, joissa on suoritettava erikoistutkimuksia kuivatuksen aiheuttaman painumisen ja vesiväylien sortumisvaaran selvittämistä varten. Koska erikoistutkimusten kustannukset ovat suuret, on tutkimuspisteet pyrittävä valitsemaan siten, että jokaisen pisteen avulla saadaan selvitys mahdollisimman laajan alueen maaperäsuhteista. Kuvassa 2 on esitetty tutkimuspisteiden sijainti Lapinlahdella olevien Paavalisen ja Leväsen vesijätöillä.

Maanviljelysinsinööripiirien töissä on erikoistutkimuksia suoritettaessa käytetty mm. seuraavia välineitä:

- painokairaa
- heijarikairaa
- siipikairaa
- mäntäkairaa.

Painokairalla (Kuva 3), joka soveltuu lähinnä koheesiomaalajien tutkimiseen, selvitetään pehmeiden lieju- ja liejusavikerrosten alla olevan kovan pohjan sijainti, sekä painumis- ja lujuusominaisuuksien puolesta erilaisten maakerrosten vahvuudet. Moreenimaiden tutkimiseen on



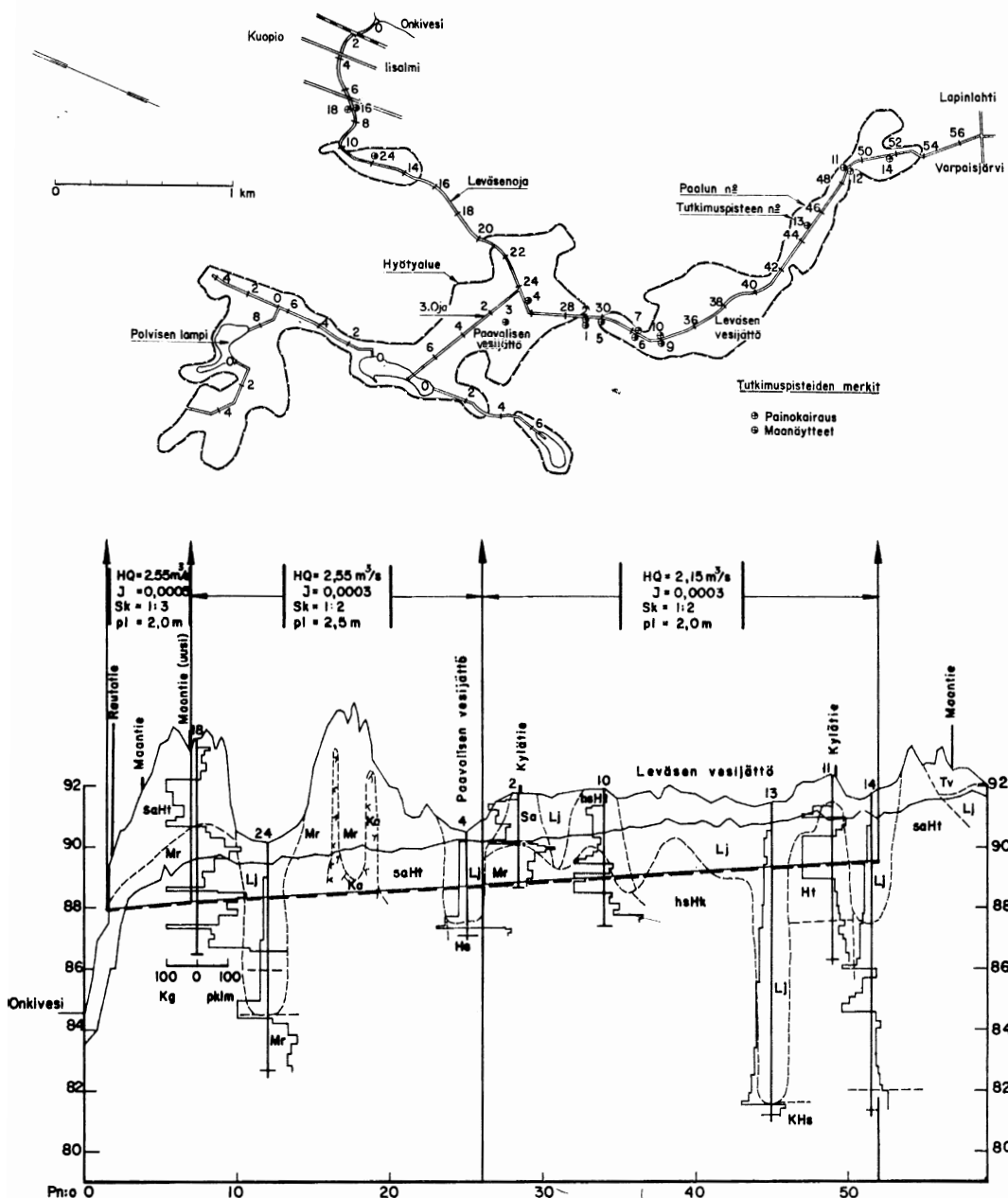
Kuva 3. Lieju- ja savikerrosten vahvuudet määritetään painokairalla Kavajärven vesijätöllä Urjalassa.

painokaira liian heikko. Heijarikairaa on käytetty lähinnä kitkamaalajeissa mm. maapatojen ja rakenteiden (sillat, pumpaamot jne) pohjatutkimusten suorittamiseen. Vesijätöillä esiintyvät maalajit ovat pääasiallisesti kohesiomaita, joiden leikkauslujuus voidaan määrittää siipikairan avulla.

Maan lujuus- ja painumisominaisuuksien selvittämistä varten joudutaan ottamaan maanäytteitä, jotka tutkitaan laboratoriossa. Maanviljelysinsinööripiireissä on käytetty halkaisijaltaan 41 mm:n suuruisia mäntäkairaa (Kuva 4). Vesiteknillisellä tutkimustoimistolla on 2 suurempaa mäntäkairaa, joiden avulla voidaan ottaa halkaisijaltaan 60.5 ja 80.0 mm:n suuruisia näytteitä, joita on otettu lähinnä lieju-



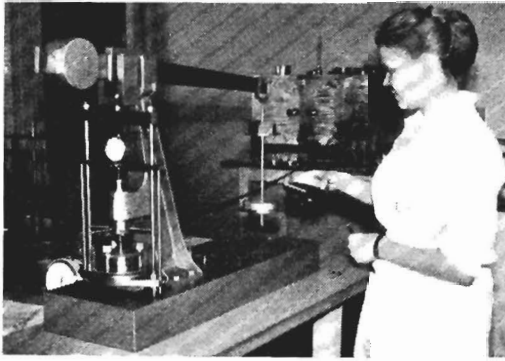
Kuva 4. Maanäytteitä otetaan mäntäkairalla Luhtajoen sortuma-alueella Nurmijärvellä.



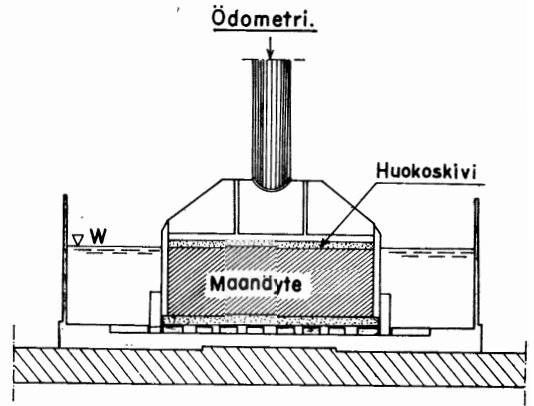
Kuva 2. Kartta Leväsen ja Paavalisen vesijätöstä sekä pituusleikkaus Leväsenojasta.

ja turvemaiden painumis- ja lujuusominaisuuksien tutkimista varten. Koheesio-maalajeista pyritään näytteet ottamaan luonnontilaisina. Koska luonnontilaisten näytteiden ottaminen runsaasti vettä sisältävistä lieju- ja turvemaista on usein hankalaa, on tällöin tyydyttävä ns. häirityihin näytteisiin. Maan painumisominais-

suudet voidaan arvioida likimäärin häirityistä näytteistä määritettyjen vesipitoisuuksien avulla (Korhonen 1958). Näytteiden ottaminen aloitetaan 0.3—0.5 m:n syvyydeltä maanpinnasta luettuna. Ylimmistä maakerroksista, 2—3 m:n syvyyteen, otetaan näytteitä tavallisesti 0.5 m:n välein. Syvemmälle mentäessä voi-



Kuva 5. Maan painumisominaisuudet tutkitaan laboratoriossa ödometrillä.



daan näytteiden väliä suurentaa. Viimeinen (syvin) näyte on otettu kovasta pohjakerroksesta tai 12—14 m:n syvyydeltä silloin kun kovan pohjan etäisyys maanpinnasta on 15—20 m tai suurempi. Pumppuasemien ja siltojen perustamistapaa selvittäessä joudutaan näytteitä ottamaan usein syvemmältäkin. Jos näytteiden otto lopetetaan 5—6 m:n syvyyteen, kuten usein on tapahtunut, ei suoritusta työstä ole sen vaatimia kustannuksia vastaavaa hyötyä. Kuvassa 7 esitettyä näytetiheyttä on pidettävä sopivana.

Maaperätutkimuksia suoritettaessa on selvitettävä myös pohjavedenpinnan korkeus ja sen vaihtelut. Kuivatuksen aiheuttama maanpinnan painuminen tapahtuu pohjavedenpinnan laskeutumisen johdosta. Tämän vuoksi on tunettava pohjavedenpinnan korkeus ennen kuivatuksen suorittamista. Pohjavesihavaintoja joudutaan suorittamaan myös syvien leikkausten vakavuuslaskelmissa tarvittavan huokosveden paineen suuruuden määrittämistä varten. Tarkoitusta varten on valmistettu ns. huokosveden painemittareita. Pohjavesihavaintoja on suoritettu myös maahan lyötyjen vesijohtoputkien avulla.

#### MAANPINNAN PAINUMIEN

Viljelysmaana käytettävän vesijätön painumiseen vaikuttaa samanaikaisesti ainakin seuraavat tekijät:

- viljelystoimenpiteiden aiheuttama kuluminen
- pohjaveden laskeutumisen aiheuttama kuormituksen lisääntyminen ja siitä johtuva maakerrosten konsolidoituminen.

On ilmeistä, että liejumaiden pintakerrosten halkeilulla ja kuivumisen aiheuttamalla kutistumisella on merkittävä vaikutus maanpinnan painumiseen. Havaintoihin ja mittauksiin perustuvia tutkimuksia ei ole kuitenkaan käytettävissä näistä syistä aiheutuvan painumisen määrittämistä varten. Viljelystoimenpiteiden aiheuttama maanpinnan kuluminen on turvemaila, viljelystavasta ja suotyypistä riippuen, kymmenen ensimmäisen vuoden aikana raivauksen suorittamisen jälkeen suuruusluokkaa 1—2 cm vuodessa ja myöhemmin 0.5—1.0 cm vuodessa (Kaitera 1954).

Kuormituksen lisäyksen aiheuttama konsolidoituminen (maakerroksen tiivistyminen) muodostaa tavallisesti tärkeimmän osan painumisesta. Pohjaveden pinnan laskeutuminen aiheuttaa pohjaveden uuden tason alapuolella olevissa maakerroksissa kuormituksen lisäyksen.

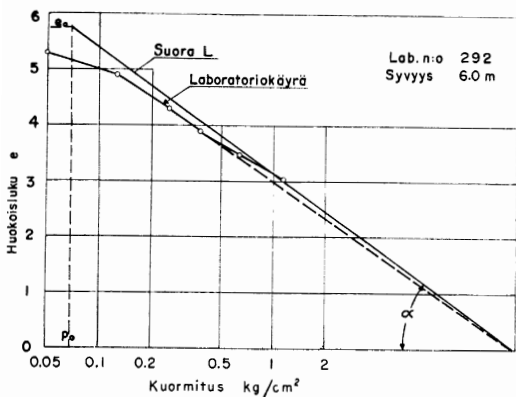
$$(1) \Delta p = z \cdot \gamma_w$$

$\Delta p$  = kuormituksen lisäys  
 $z$  = pohjaveden pinnan laskeutuma  
 $\gamma_w$  = veden tilavuuspaino.

Pohjavedenpinnan alkuperäisen ja uuden korkeusaseman välillä kasvaa kuormituksen lisäys suoraviivaisesti arvosta 0 arvoon  $\Delta p$ . Pohjavedenpinnan yläpuolella olevissa maakerroksissa (koheesiomajaleissa) vaikuttavan kapillaarijännityksen johdosta voidaan kuormituksen lisäys kuitenkin otaksua vakioksi maanpinnasta lähtien (Helenelund 1956).

Kuormituksen lisäyksen aiheuttama konsolidaatiopainuma lasketaan kaavasta (Terzaghi, Peck 1948).

$$(2) S = \frac{C_r}{1+e_0} \Delta H \cdot \log \frac{\Delta p + p_0}{p_0}$$



Kuva 6. Ödometrikokeen tulos esitetään kuormituksen ja huokosluvun välisenä vuorosuhteena.

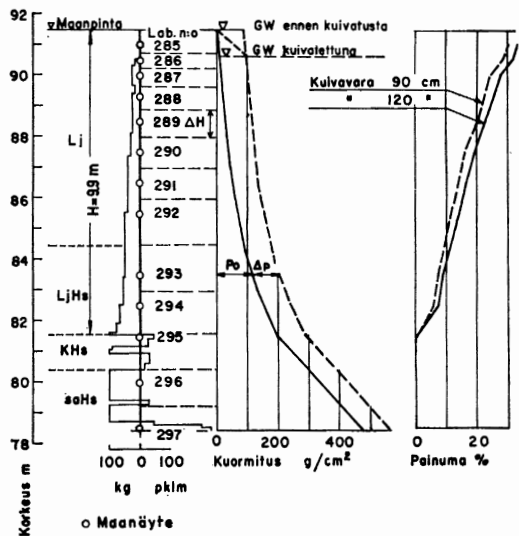
- $S$  = maakerroksen painuma  
 $C_c$  = tiivistymisindeksi  
 $e_0$  = esikuormitusta  $p_0$  vastaava huokosluku  
 $\Delta H$  = painuvan maakerroksen vahvuus  
 $\Delta p$  = kuormituksen lisäys  
 $\Delta p + p_0$  = kokonaiskuormitus.

Painuman suuruus riippuu em. kaavan mukaan kolmesta tekijästä; maan painumisominaisuuksia kuvaavasta luvusta  $\frac{C_c}{1 + e_0}$ , painuvan maakerroksen vahvuudesta sekä kokonaiskuormituksen ja esikuormituksen suhteesta.

Tiivistymisindeksi  $C_c$  määritetään kustakin painuvasta maakerroksesta otetusta luonnontilaisesta näytteestä ödometrin avulla. Ödometrin rakenne on esitetty kuvassa 5. Tutkittava maanäyte, jonka korkeus on 25—35 % näytteen halkaisijasta, asetetaan messinkisyliinteriin. Näytteen ylä- ja alapää varustetaan vettä hyvin läpäisevällä huokoskivellä. Näytettä kuormitetaan asteittain pystysuoralla kuormituksella, jolloin siitä pusertuu vettä huokoskivien kautta. Näytteen painumista seurataan mittakellon avulla. Kuvassa 6 on esitetty Leväsen vesijätöltä otetun maanäytteen ödometrikokeen tulos. Kuvassa esitettyä menettelytapaa käyttäen konstruoidaan ns. laboratoriokäyrän perusteella suora  $L$ , jonka kaltevuuskulman avulla saadaan tiivistymisindeksi.

$$(3) C_c = \operatorname{tg} \alpha.$$

Kaavassa (2) esiintyvällä huokosluvulla tarkoitetaan maan huokostilavuuden ja kiinteän maamassan tilavuuden suhdetta.



Kuva 7. Leväsen vesijätöllä suoritetun painokairauksen tulos (vasemmalla). Tutkimuspisteestä on otettu näytteitä maan painumis- ja lujuusominaisuuksien selvittämistä varten laboratoriossa. Keskimmaisessä kuvassa on esitetty maassa vallitseva esikuormitus ja pohjaveden laskeutumisen aiheuttama kuormituksen lisäys. Oikealla olevassa piirroksessa on esitetty maakerrosten suhteellinen painuma.

$$(4) e = \frac{n}{1-n}$$

$n$  = huokoisuus.

Huokoisuus määritetään ödometrikokeessa tutkitun näytteen avulla.

$$(5) n = \left(1 - \frac{G_k}{s \cdot V_0}\right)$$

- $G_k$  = näytteen kuivapaino sen jälkeen kun näyte on kuivunut 105 C°:n lämpötilassa vähintään 5 tuntia.  
 $s$  = maan tiheys ( $\text{g/cm}^3$ )  
 $V_0$  = näytteen tilavuus ödometrikokeen alussa.

Näytteen edustaman maakerroksen vahvuus ( $\Delta H$ ) määritetään esim. painokairauspiirroksen avulla (Kuva 7). Esikuormituksella tarkoitetaan ko. pisteen yläpuolella olevien maakerrosten painon aiheuttamaa tehokasta normaalijännitystä (ennen kuivatuksen suorittamista). Jos maan tilavuuspaino on vakio ja pohjaveden pinta on maanpinnan korkeudella tai sen yläpuolella, lasketaan esikuormitus kaavasta

Lab. n:o	Syryys m	Huokoisuus $e_0$	Tiivistymisindeksi $\frac{C_c}{1+e_0}$	$\frac{C_c}{1+e_0}$	$\Delta H$ cm	Tilavuuspaino $g/cm^3$	Etäkuormitus $P_0$ g/cm <sup>2</sup>	Kuormituksen lisäys $\Delta P$ g/cm <sup>2</sup>	$P_0 + \Delta P$ g/cm <sup>2</sup>	$\frac{P_0 + \Delta P}{P_0}$	$\log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0}$	Painuma $\Delta S$ cm
285	0.5	8.80	2.33	0.238	75	0.10	5	90	95	19.0	1.279	22.8
286	1.0	9.00	2.83	0.283	50	0.08	10	"	100	100	1.000	14.2
287	1.5	9.00	2.81	0.281	60	0.08	14	"	104	7.42	0.870	14.7
288	2.2	9.86	3.20	0.294	75	0.07	19	"	109	5.73	0.758	16.7
289	3.0	9.64	3.29	0.309	90	0.11	26	"	116	4.46	0.649	18.1
290	4.0	9.12	3.07	0.303	100	0.12	38	"	128	3.37	0.528	16.0
291	5.0	7.62	2.73	0.317	100	0.14	51	"	141	2.76	0.441	14.0
292	6.0	5.76	2.25	0.333	150	0.20	68	"	158	2.32	0.365	18.2
293	8.0	3.98	1.32	0.265	150	0.30	118	"	208	1.76	0.246	9.8
294	9.0	2.52	0.937	0.266	140	0.45	155	"	245	1.58	0.199	7.4
295	10.0	0.57	0.018	0.011	115	0.90	205	"	295	1.44	0.158	0.2
296	11.5	1.04	0.097	0.048	120	0.88	339	"	429	1.27	0.104	0.6
297	13.0	0.42	0.016	0.011	80	0.94	505	"	565	1.19	0.076	0.1

$\Sigma \Delta S = 152.8$

Kuva 8. Painumalaskelma on suoritettu Leväsen vesijätöltä otettujen maanäytteiden laboratoriotutkimusten perusteella. Kuivavara on otaksuttu 90 cm:ksi.

$$(6) p_0 = z \cdot \gamma' = z \cdot (\gamma - 1) = z \cdot (-1) \cdot (1-n)$$

$z$  = tarkasteltavan pisteen ja maanpinnan korkeusero

$\gamma'$  = veden alla olevan maan tilavuuspaino

$\gamma$  = maan tilavuuspaino veden pinnan yläpuolella

$s$  = maan tiheys ( $g/cm^3$ )

$n$  = maan huokoisuus.

Kuvassa 8 on esitetty Leväsen vesijätöllä olevan pisteen (n:o 13) painumalaskelma. Maakerrosten suhteellinen painuma on piirretty kuvaan 7. Jos alue kuivatetaan niin tehokkaasti, että kuivavara (maanpinnan ja pohjaveden korkeusero) on 90 cm, painuvat ylimmät maakerrokset noin 30 %. Niissä maakerroksissa, jotka ovat 9—10 m maanpinnan alapuolella (ja alempana) ei pohjaveden laskeutuminen johdosta tapahdu sanottavaa painumista. Laskelmissa käytettävän kuivavaran suuruudesta on esitetty toisistaan poikkeavia mielipiteitä. Uusimmat tutkimukset viittaavat siihen, etteivät useimmat viljelyskasvit tarvitse niin suurta kuivavaraa kuin em. laskelmissa on käytetty. Kuivavaran suuruutta arvioitaessa on otettava huomioon myös riittävän vahvan kuivakuorikerroksen muodostumiseen tarvittava kuivatussyvyys. Viljelystoimenpiteiden suorittaminen liejumaille ei ole mahdollista ennenkuin maanpintaan on muodostunut kantava kuivakuorikerros, joka näyttää kehittyvän kuitenkin nopeasti jo 0.3—0.4 m:n kuivatussyvyydellä.

Maataloustraktorin kantava kuivakuorikerros on eräissä tapauksissa muodostunut 2—3 vuotta valta- ja sarkaojien kaivun jälkeen. Tämä aika riippuu luonnollisesti siitä minkälaisessa tilassa vesijätö on ennen ojittamista.

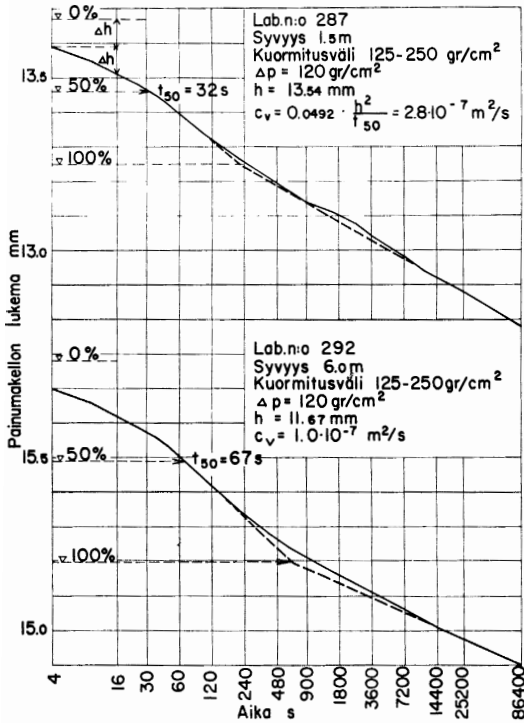
Pengertämällä kuivatetuilla alueilla voidaan kuivavaraa säännöstellä maanomistajien toivomusten mukaan. Käytetyssä kuivavara on havaittavissa suurehkoja poikkeamia eri alueiden välillä. Kesällä 1960 Etelä-Suomessa olevilla pengerrysalueilla todettiin kuivavaran olevan kasvuvuoden aikana 0.4—1.0 m. Kuvassa 8 esitetyn painumalaskelman tulos saattaa vaikuttaa suurehkolta. Liejumaille suoritettavat havainnot viittaavat kuitenkin siihen, että 1.0—1.5 m suuruinen painuminen voi tapahtua 20—25 vuoden kuluessa.

Edellä selostettu menettelytapa painuman määrittämiseksi on kehitetty lähinnä savimaita varten. On ilmeistä, ettei tätä menetelmää voida ainakaan sellaisenaan käyttää turvemaiden painumisen arvioimiseen. Liejumaisissa, joiden humuspitoisuus on 6—10 % tai pienempi, saadaan tällä menetelmällä todennäköisesti oikeita suuruusluokkaa olevia tuloksia.

Kuormituksen aiheuttama maan konsolidoituminen tapahtuu siten, että maan huokosissa oleva vesi (huokosvesi) puseruu ulos, jolloin maan tilavuus pienenee. Huokosveden virtaus tapahtuu kuormituksen lisäyksen aiheuttaman ylipaineen johdosta. Jos maanpinnalle asetetaan tasainen kuormitus ( $\Delta p$ ) on huokosveden ylipaine ( $u$ ) välittömästi kuormituksen lisäyksen jälkeen

$$(7) \Delta p = u$$

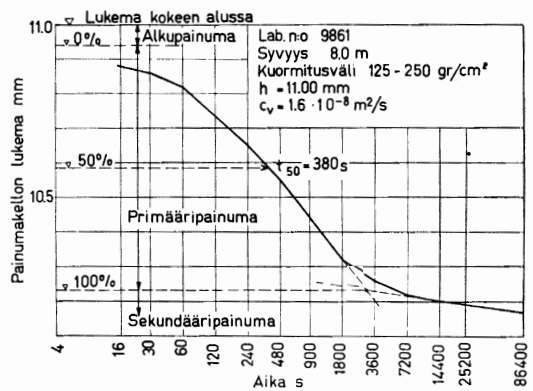
Huokosveden poistuminen tapahtuu sitä nopeammin mitä lyhyempi matka sen on maassa kuljettava ja mitä suurempi on maan vedenläpäisevyys. Homogeenisessa maassa, jossa ei ole vettä hyvin läpäiseviä kerroksia, pääsee huokosvesi virtaamaan pääasiallisesti vain ylöspäin. Konsolidoituminen alkaa tämän vuoksi ylimmissä maakerroksissa ja etenee vähitellen syvemmälle. Huonosti vettä läpäisevien ja vahvojen maakerrosten konsolidoitumiseen kulua aika saattaa olla jopa satoja vuosia. Koska näin pitkän ajan kuluessa tapahtuvaa painumista ei voida ottaa huomioon kuivatussuunnitelmaa laadittaessa, on painumalaskelmaa suoritettaessa selvítettävä myös painumisnopeus ja se aika, jonka ku-



Kuva 9. Näytteen painuman ja ajan välinen vuorosuhde ödometrikokeessa. Näytteet on otettu Leväsen vesijätöltä liejunkerroksesta. Ylempi näyte, jossa ei ole selvää taitetta primääri- ja sekundääripainumien välillä, on tyypillinen humuspitoisille maalajeille.

luessa tapahtuvaa painumista on pidettävä määrävänä. Kohtuullisena tavoitteena voitaneen yleensä pitää sitä, että väylät kaivetaan niin syviksi, että hyötyaluetta voidaan viljellä, perkausta kokonaisuudessaan uusimatta, ainakin 25—30 vuotta jona aikana valtion myöntämä kuivatuslaina on maksettava takaisin. Vesijätöjä kuivatettaessa ei väyliä kuitenkaan voida aina kaivaa näin syviksi sortumisen takia. Kaivutyö on tällöin suoritettava siten, että väyliä syvennetään asteittain. Työn valmistuminen vaatii tästä syystä runsaasti aikaa. Pengerryspumppaamojen perustamissyvyyttä arvioitaessa tulisi ottaa huomioon niiden käyttöikä, joka lienee, rakenteesta riippuen, 40—50 vuotta. Väylien perkaussyvyys ja pumppaamojen perustamissyvyys tulisi siis määrittää em. aikoina tapahtuvien painumien perusteella. Suunnittelussa huomioon otettavaa aikaa voitaisiin sanoa »suunnitteluiäksi».

Painumisnopeuden laskemiseen tarvittavat kertoimet määritetään ödometrikokeen aikana suoritettujen havaintojen pe-



Kuva 10. Savimaasta otetun näytteen painuman ja ajan välinen suhde ödometrikokeessa. Primääri- ja sekundääripainumien välillä on selvä taite.

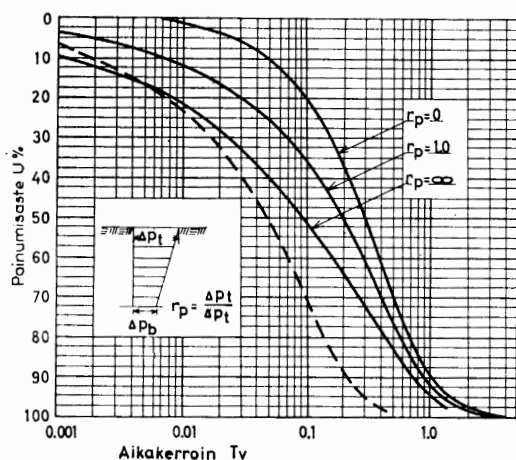
rusteella. Kuvassa 9 on esitetty Leväsen vesijätöltä otettujen liejunäytteiden ns. aika-painumakäyrät, jotka on piirretty yhden vuorokauden aikana suoritettujen havaintojen perusteella. Kuvassa 10 on vastaava savinäytteen käyrä. Näyte on otettu Luhtajoen sortuma-alueelta Nurmijärvellä ja edustaa Etelä-Suomessa esiintyvää lihavaa savimaata. Tämän maalajin voidaan katsoa painuessaan »käyttäytyvän» konsolidoitumisteorian mukaisesti. Painuminen tapahtuu 3 vaiheessa (Kuva 10):

- alkupainuma (initial compression)
- primääripainuma (primary compression)
- sekundääripainuma (secondary compression).

Alkupainumalla, joka tapahtuu nopeasti, ei yleensä ole sanottavaa merkitystä pohjaveden laskeutumisen aiheuttamaa painumista määritettäessä. Primääripainuma muodostaa painumisen tärkeimmän osan. Konsolidoitumisella tarkoitetaan yleensä vain primääripainumaa. Sekundääripainuma tapahtuu hitaasti ja saattaa kestää huonosti vettä läpäisevissä koheesiomaalajeissa vuosisatoja. On ilmeistä, että sekundääripainuma näyttää merkittävää osaa turve- ja liejumaiden painumisessa.

Ödometrikokeen aikapainumakäyrän avulla määritetään ns. konsolidaatiokerroin ( $c_v$ ). Konsolidoitumiseen kuluva aika lasketaan kaavasta

$$(8) t = \frac{H^2 \cdot T_v}{c_v}$$



Kuva 11. Aikakerroimen ja painumisasteen välinen vuorosuhde.

$H$  = painuvan maakerroksen vahvuus  
 $T_v$  = aikakerroin.

Kuvassa 11 on esitetty aikakerroimen ja painumisasteen välinen vuorosuhde (Janbu, Bjerrum, Kjaernsli 1956). Koska kuormituksen lisäys voidaan otaksua vakioksi kaikissa maakerroksissa ja huokosveden virtaus ylöspäin suuntautuvaksi määritetään aikakerroin arvo  $r_v = 1.00$  vastaavan käyrän avulla. Kuvassa 10 esitetty katkoviiva vastaa sellaisia olosuhteita, joissa vesi pääsee poistumaan painuvasta maakerroksesta ylös- ja alaspäin. Leväsen vesijätöltä otettujen maanäytteiden keskimääräiseksi konsolidaatioskertoimeksi on ödometrikokeiden perusteella saatu  $c_v = 1.8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ . Kuvasta 8 käy ilmi, että 10.0, 11.5 ja 13.0 m:n syvyyksistä otettujen näytteiden perusteella lasketut painumat ovat niin pieniä, ettei niillä ole lopputulokseen sanottavaa merkitystä. Painuvan maakerroksen vahvuudeksi voidaan näin ollen ottaa kuvassa 7 esitetyn painokairauspiirroksen perusteella 9.9 m. Painumisen tapahtumiseen kuluu aikaa

$$t = \frac{T_v \cdot 9.9^2 \cdot 10^7}{1.8 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365} = 17.3 \cdot T_v \quad (\text{vuotta})$$

Alla olevassa taulukossa on esitetty painuman ja ajan välinen vuorosuhde.



Kuva 12. Liejumaahan kaivettu väylä on sortunut Kirkkojärven pengerrysalueella Liperissä.

Painuma		Aikakerroin $T_v$	Aika $t$ vuotta
U	S		
%	cm		
50	76	0.20	3.5
70	108	0.40	6.9
90	138	0.90	15.6

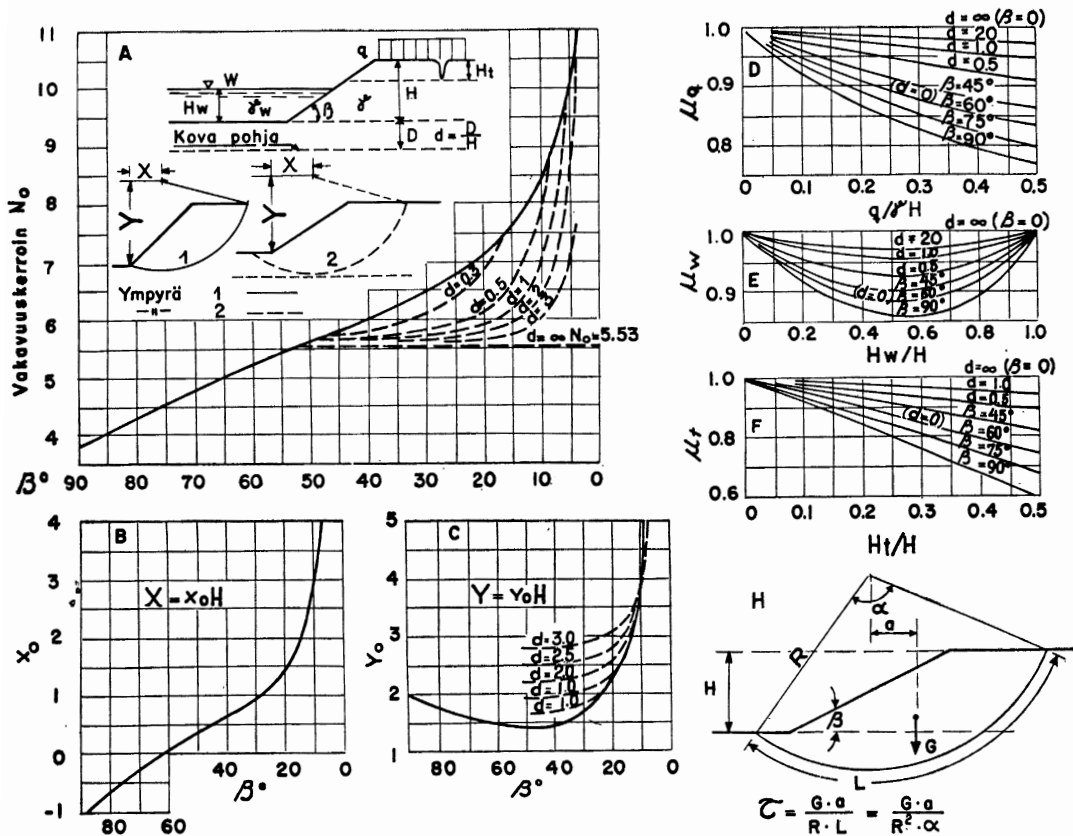
Konsolidoitumisen aiheuttama painuma tapahtuisi todennäköisesti lasketussa ajassa, jos pohjaveden pinta alenisi nopeasti otaksutun määrän. Pohjaveden pinnan laskeutumisenopeus ja laskeutuman suuruus riippuvat siitä kuinka paikallisojitus suoritetaan valtaojan (tässä tapauksessa Leväsenojan) perkauksen jälkeen.

Kuivumisen aiheuttama pintakerrosten halkeilu nopeuttaa pohjavedenpinnan laskeutumista liejumilla. Leväsen vesijätön painuminen näyttää laskelmien mukaan muodostuvan niin suureksi, ettei kuvassa 2 esitetyn tasausviivan mukaisella perkauksella saavuteta riittävää kuivatusta niin pitkäksi ajaksi kuin olisi toivottavaa. Pengerryskuivatus, jonka käyttöä tässä tapauksessa on myös harkittu, tulee kalliiksi koska valuma-aluetta ei voida eristysojien avulla pienentää.

#### VESIVÄYLIEN SORTUMINEN

Vesijätöillä esiintyvät maalajit ovat tavallisesti liejua ja liejusavea. Liejukerroksen päällä on usein ohut turvekerros. Liejupintaistat maalajit ovat yleensä löyhempää ja heikompää kuin muut maalajit. Pienestä leikkauslujuudesta johtuen ovat vesiväylien sortumat yleisiä vesijätöillä





Kuva 13. Janbun kehittämä menettelytapa liukumalla sortuvan luiskan varmuusluvun ja vaa-  
rallisimman liukupinnan keskipisteen määrittämistä varten.

kuivatettaessa. Liejumaahan kaivetut väylät sortuvat tavallisesti joko juoksemalla tai liukumalla. Muut vesiväylien sortumistavat; pintavesi- ja pohjavesieroosio, (Korhonen 1960) ovat sitävastoin harvinaisempia liejumaihin kaivetuissa väylissä. Liejumaiden herkkään juoksemiseen on syynä lähinnä niiden suuri vesipitoisuus, joka on usein lähellä juoksurajaa. Kaivutöiden aiheuttaman tärinän johdosta menettää tällainen maa herkästi lujuutensa ja valuu nestemäisenä massana perattuun väylään (Kuva 12). Kuvassa 14 on esitetty Leväsenojan poikkileikkaus (Pn:o 45.00) vesijätön kohdalta. Kuvassa esitetyt leikkauslujuusarvot on laskettu kartio-, puristus- ja lävistyskokeilla saatu-  
jen tulosten keskiarvona. Maan leikkauslujuus on liejuserroksessa noin  $0.5 \text{ t/m}^2$ . Vesijätöillä esiintyvän liejumaan lujuus on usein em. arvoakin pienempi.

Liukumalla sortuvan maaluiskan vaka-  
vuutta laskettaessa otaksutaan maan liik-  
kuvan sylinterin muotoista liukupintaa

pitkin. Keskimääräinen leikkausjännitys liukupinnalla lasketaan kuvassa 13 H esitettyjä merkintöjä käyttäen kaavasta

$$(9) \quad \tau = \frac{G \cdot a}{R \cdot L} = \frac{G \cdot a}{R^2 \cdot \alpha}$$

$\tau$  = leikkausjännitys liukupinnassa

$G$  = liukuvan maakappaleen paino

$a$  = liukuvan maakappaleen momentti-  
varsi liukupinnan keskipisteen suh-  
teen

$R$  = liukuympyrän säde

$L$  = liukupinnan toimiva pituus

$\alpha$  = liukuympyrän keskuskulma.

Varmuusluku lasketaan kaavasta

$$(10) \quad F = \frac{s}{\tau}$$

$F$  = varmuusluku

$s$  = keskimääräinen leikkauslujuus liu-  
kupinnassa.

Sortuminen on todennäköistä, jos var-  
muusluku on pienempi kuin 1.00. Kuvassa  
13 on esitetty Janbun (1954) kehittä-





**Kuva 15.** Pengertämällä kuivatetun Kalliojärven (Tammelassa) eristysoja on louhittu osittain kallioon, koska ojan vasemmalla rannalla oleva penger olisi muutoin jouduttu rakentamaan noin 15 m:n vahvuisen pehmeän liejukerroksen päälle.

dään kuivatettava alue tai osa siitä maasta rakennettavilla penkereillä ja niiden viereen kaivettavilla eristysojilla. Lieju- maiden pienestä leikkauslujuudesta johtuen ovat ne heikosti kantavia, josta syystä penkereiden rakennustöiden yhteydessä on tapahtunut vaikeasti korjattavia sortumia. Jos maaperätutkimukset on perusteellisesti suoritettu voidaan tällaisilta ikävyyksiltä kuitenkin välttyä. Kuvassa 15 on esitetty Tammelassa olevan Kalliojärven penger ja eristysoja. Maaperätutkimusten perusteella todettiin, että kova moreenipohja laskeutuu jyrkästi vesijätölle päin. Penger siirrettiin tämän vuoksi siten, että eristysoja louhittiin osittain kallioon.

Vesijättöjen kuivatustöiden yhteydessä esiintyneiden vaikeuksien sekä kuivatettua hehtaaria kohti laskettujen suurehko-

jen kustannusten johdosta on niiden kuivattamiseen usein suhtauduttu pidättyvästi. Tällainen suhtautumistapa lienee usein ollut paikallaan. Maanomistajat ja suunnittelijatkin ovat usein esittäneet, että vesijättöjen kuivattaminen olisi suoritettava vaiheittain, siten että ensimmäisessä vaiheessa suoritetaan laskuväylässä vain pienehkö perkaus, jonka avulla saadaan poistetuksi viljelyksessä olevilta ranta- mailta tulvat ja korkean pohjaveden aiheuttamat haitat. Tällainenkin ratkaisu saattaa eräissä tapauksissa olla paikallaan. Ryhdyttäessä niin kalliiseen toimenpiteeseen kuin vesijättöjen kuivattaminen usein on, lienee kuitenkin syytä harkita koko alueen samanaikaista kuivattamista, niin ettei työtä tarvitse kokonaisuudessaan uusua välittömästi sen jälkeen tai mahdollisesti jo aikaisemminkin, kun edellisen kuivatuksen valtionvelka on saatu maksetuksi. Kuivatuksen uusimisen voi aiheuttaa mm. se, että maanpinnan painuminen on arvioitu liian varovaisesti. Jos painuminen arvioidaan liian suureksi, jota lienee kuitenkin harvemmin tapahtunut, joudutaan väylissä suorittamaan kohtuuttoman syvä perkaus, josta saattaa olla seurauksena vaikeasti korjattavia sortumia. Syvistä perkauksista ja niiden aiheuttamista haitoista on mahdollisuus välttyä pengerryskuivatusta käyttämällä. Maanomistajien suhtautuminen pengerrysratkaisuihin on ollut usein kielteinen pumppaamisen vaatimien jatkuvien kustannusten johdosta. Kuivatettujen vesijättöjen tuotto on kuitenkin usein niin suuri, että se korvaa pumppaamisen aiheuttamat kustannukset.

## KIRJALLISUUTTA

- HELENELUND, K. V. Pohjarakennus- ja maa- rakennustekniikka I. Tekn. korkeakoulun moniste n:o 137. Helsinki 1956.
- JANBU, N. Stability Analysis of Slopes with Dimensionless Parameters. Harvard soil mechanics series n:o 46. Cambridge Mass. 1954.
- JANBU, N., BJERRUM, L., KJAERNSLI, B. Veiledning ved lösning av fundamenterings- oppgaver. Norges Geotekniske institutt, publ. nr. 16. Oslo 1956.
- KAITERA, P. Om uppskattning av markytans sättning vid torrlägnings arbetena. Berättelse över nordiska jordbruksforskarens förenings 9. kongress Köpenhamn, s. 532—540. Stockholm 1954.
- KAITERA, P., PAASILAHTEI, S. Maan kuiva- tus ja vesitys. Helsinki 1940.
- KORHONEN, K-H. Maan painumisominaisuuksista. Maa- ja vesirakentaja 3, s. 63—69. Helsinki 1958.
- KORHONEN, K-H. Vesiväylien sortumista ja vahvistusmenetelmistä. Erip. Rakennustaito- lehdestä n:o 15. Vammala 1960.
- TERZAGHI, K., PECK, R. B. Soil mechanics in engineering practice. New York, London 1948.

*Leo Heikurainen:*

## SUON PINNAN PAINUMINEN METSÄOJITUKSEN VAIKUTUKSESTA

Suon pinnan painumista koskevassa symposiumissa pidetty esitelmä

Suon pinnan painumista metsäojituksen vaikutuksesta on meillä tutkinut yksityiskohtaisemmin *Lukkala* (1948 ja 1949). *Kaiteran* tutkimukseen (1954) kuivatuksen aiheuttamasta suon pinnan painumisesta sisältyy myös mittauksia metsäojituksen aiheuttamasta painumisesta. Metsäojien mataloitumista koskevassa tutkimuksessaan on myös *Heikurainen* (1957) kosketellut suon pinnan painumista.

Metsätaloudellisille kuivatuksille on ominaista suhteellisen harva ja matala ojitus, joka tietysti merkitsee suhteellisen vähäistä suon pinnan painumista verrattuna esim. polttoturvesuon kuivatukselta aiheutuvaan painumiseen. Toisaalta suon pinnan painuminen tapahtuu metsätaloutta varten suoritetuilla kuivatuksilla sikäli

puhtaana, että suon pinta muuten säilyy koskemattomana. Ajan oloon puuston paino tosin lisääntyy, mutta sen vaikutus ei ainakaan ensimmäisinä ojituksen jälkeisinä vuosina häiritse kuivatukselta aiheutuvaa suon pinnan painumista.

Suon pinnan painuminen kuivatuksen vaikutuksesta on monien tekijöiden summa. Nämä eri tekijät voidaan jakaa esim. a) suon ominaisuuksista, b) kuivatuksen tehokkuudesta ja c) kuivatuksen kestosta aiheutuviin tekijöihin.

Seuraava asetelma osoittaa, miten suon pinnan painuminen on vaihdellut erilaisilla suotyypeillä. Luvut ovat *Lukkalan* tutkimuksesta (1949) poimittuja esimerkkejä, eivätkä ne siten ole yleistämiskelpoisia keskiarvolukuja, vaan suon pinnan painumisen erilaisuutta erilaisissa olosuhteis-

### ON DRAINING OF ALLUVIAL LANDS

The article deals with the problems of soil technology occurring in connection with the drying of alluvial lands gained by lowering the water level of lakes, i.e., settling of the soil surface and cave-in of water channels. Although draining of uncultivated areas has no claim to highest priority among the soil improvement activities in Finland at present, draining of alluvial lands in unprofitable condition frequently carries great significance for the landowners concerned. Such draining operations can be said to range among the most difficult tasks occurring in agricultural hydraulic engineering for the reason, e.g., that the settling of the drained areas has often turned out to be greater than could be assumed when the plans were drawn up. The bureau of hydro-technical research of the engineering division of the Board of Agriculture, which also has

the task of developing the foundations for planning in agricultural hydraulic work, has launched a research project, which is intended to include elucidation of the causes responsible for the settling of the soil surface ensuing upon lowering of the ground water table (i.e., subsequent to draining) and a study of the methods by which the amount of settling can be estimated in advance. Attempts will also be made to clarify the factors affecting the cave-in of water courses and to find expedients in aid of its prevention. As the draining of alluvial lands has often to be done according to the embankment draining method, the investigators also try to pay attention to the development of embankment basin pumping stations suitable for use in the Finnish climate and in our particular hydrological conditions, and of their specialized equipment.